

УДК 656.628:656

ОБЪ-ИРТЫШСКИЙ МЕРИДИОНАЛЬНЫЙ РОССИЙСКИЙ ТРАНСПОРТНЫЙ КОРИДОР В СИСТЕМЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СВЯЗЕЙ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.П. Зачёсов, С.Г. Сандулов

В мировой торговле интенсивно развиваются евразийские торгово-экономические связи между странами АТР, Юго-Восточной Азии и Европы. Самые короткие по времени доставки товаров маршруты разных видов транспорта проходят по территории России и, в частности, по территории Сибири.

Долгосрочные интересы Российской Федерации, состоящие в создании современной экономики инновационного типа, интегрированной в евро-азиатское экономическое пространство, определяют особую роль Сибири в силу ее географического положения и наличия значительного ресурсного, производственного, научно-технического и образовательного потенциала.

С целью определения долгосрочных ориентиров экономического развития и принципов государственной экономической политики в отношении Сибири, которые позволили бы реализовать стратегические интересы России, учеными СО РАН подготовлена «Стратегия экономического развития Сибири».

В настоящее время в мировой торговле интенсивно развиваются евразийские торгово-экономические связи между странами АТР, Юго-Восточной Азии и Европы. Самые короткие по времени доставки товаров маршруты разных видов транспорта проходят по территории России и, в частности, по территории Сибири. Необходимо использовать сложившуюся в международном сообществе ситуацию для решения внутренних проблем путем организации на этой территории международных транспортных коридоров.

«Стратегия экономического развития Сибири», утвержденная Правительством России в 2002 году в составе основных направлений решения поставленной проблемы предполагает интеграцию транспортной системы Сибири в систему международных транспортных коридоров.

Реализация основных положений Стратегии в сфере транспорта осуществляется в рамках федеральной целевой программы «Модернизация транспортной системы России».

Предпосылки для решения этой проблемы на территории Сибири имеются. Определяющее значение в ее решении оказывает Транссиб, проходящий через наиболее освоенные и населенные южные районы и связывающий страны Западной Европы со странами Юго-Восточной Азии. Кроме этого по Северному Ледовитому океану вдоль побережья России проходит арктический коридор. Основу этого коридора образует Северный Морской Путь (СМП).

В настоящее время основными направлениями и странами, участвующими в перевозках грузов по Транссибу являются: Республика Корея – Финляндия, Эстония, Казахстан, Узбекистан, Афганистан, Норвегия, Литва; Япония – Финляндия, Афганистан, Монголия, Чехия; Китай - Украина, Эстония, Казахстан, Румыния. Использование Транссиба для осуществления транзитных перевозок из районов Тихоокеанского региона в Европу сокращает расстояние перевозки в 1,5-2,5 раза по сравнению с перевозками по южному направлению через Индийский океан и Суэцкий канал.

Экономические и политические соображения заставляют Россию и заинтересованные

зарубежные страны Северных районов Америки и Европы рассматривать Северный морской путь в качестве международного транспортного коридора круглогодичного действия, способного существенно сократить доставку грузов между Америкой, Японией и Европой. По данным Министерства транспорта РФ, объем перевозок в Арктике по СМП увеличиться к 2010 году в 10 раз по сравнению с 2005 годом.

В этой ситуации по новому оценивается роль внутреннего водного транспорта в хозяйственном развитии страны и мировом сообществе – речные пути становятся единственным средством связи между транспортными коридорами (Транссиб и СМП) в меридиональном направлении через магистральные водные пути Обь-Иртышского, Енисейского и Ленского бассейнов.

Таким образом, уместно рассматривать Обь-Иртышский, Енисейский и Ленский бассейны как меридиональные российские транспортные коридоры. Ниже в общих чертах рассматривается Обь-Иртышский транспортный коридор.

В настоящее время интенсивно нарастают торгово-экономические связи России с Китаем. За последние четыре года они увеличились более чем в два раза и в 2004 году составили 46,4 млн. тонн, из которых 93% - экспортные грузы.

По данным таможенной службы внешнеторговый оборот России с Китаем по итогам 2004 года распределяется следующим образом (таблица 1).

Таблица 1 – Внешнеторговый оборот России с Китаем по Федеральным округам

Федеральные округа	Количество перевозок, тыс. т	Доля, %
1 Федеральные округа Европейской части России	18125,0	39,1
2 Уральский	2866,0	6,2
3 Сибирский	11778,0	25,4
4 Дальневосточный	13609,0	29,3
Итого:	46378,0	100,0

Федеральные округа Европейской части России в общем количестве перевозок составляют 39%, Сибирский Федеральный округ – 25%, Дальневосточный – около 30% и Уральский – 6%.

В составе экспортных перевозятся грузы лесопромышленного комплекса (37%), топливно-энергетического (32,7%), химического (11,8%), чёрной металлургии (11,5%), а также строительного комплекса (5,6%) – таблица 2.

Таблица 2 – Экспортные грузы в системе «Россия – Китай»

Отрасли	Количество перевозок, тыс. т	Доля, %
1 Строительный комплекс	2421,6	5,6
2 Чёрная металлургия	4962,6	11,5
3 Топливо-энергетический	14126,5	32,7
4 Химический комплекс	5105,3	11,8
5 Лесопромышленный комплекс	15985,8	37,0
6 Другие отрасли	547,3	1,4
Итого:	43149,1	100,0

Доминирующее положение в распределении торговых грузов по видам транспорта в системе «Россия – Китай» (таблица 3) занимает железнодорожный транспорта (84% от общего количества), морской - около 11%. На долю внутреннего водного транспорта приходится не многим более 1,5%.

Такое положение складывается в отсутствии транспортных связей КНР с внутренними водными путями России. За исключением Амурского бассейна глубоководные реки Сибири

**ОБЬ-ИРТЫШСКИЙ МЕРИДИОНАЛЬНЫЙ РОССИЙСКИЙ ТРАНСПОРТНЫЙ КОРИДОР В СИСТЕМЕ
МЕЖДУНАРОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СВЯЗЕЙ**

Лена, Енисей, Обь и Иртыш не имеют прямого выхода на Китай. Реализация проекта по восстановлению транспортного коридора Новосибирск – Урумчи окажет существенное влияние на развитие торговых отношений в направлении России – Западный Китай.

Эксперты прогнозируют, что к 2010 году объемы перевозок грузов между Россией и Китаем вырастут более чем в 5 раз по сравнению с 2004 годом. Такой прирост будет обеспечен в основном Восточной Сибирью. Однако при создании необходимых институциональных условий и инфраструктурного обеспечения, торговля России с Западным Китаем может возрасти через 5 лет в 10-15 раз.

Таблица 3 – Распределение торговых грузов по видам транспорта в системе «Россия – Китай»

Виды транспорта	Количество перевозок, тыс. т	Доля, %
1 Морской	5007,0	10,8
2 Железнодорожный	39048,0	84,2
3 Воздушный	0,6	0,0
4 Внутренний водный	744,6	1,6
5 Суда «река-море»	37,6	0,1
6 Автодорожный	1539,6	3,3
Всего:	46378,0	100,0

В районе Алтайского края и Западного Китая в настоящее время не создана опорная сеть дорог, что осложнило доставку товаров в районы с ограниченным доступом. В этой связи представляется своевременным проект автомобильной дороги между Россией и Западным Китаем.

Составной частью Обь-Иртышского меридионального российского транспортного коридора является Чуйский автомобильный транспортный коридор: Новосибирск – Барнаул – Горно-Алтайск – Монголия – Китай. В случае положительного решения по осуществлению этого проекта от Федеральной дороги М52 Новосибирск – Бийск – Ташанта необходимо новое строительство ответвления от пос. Кош-Агач до перевала Канас (195 км) на Китайском участке границы Республики Алтай и 70 км от перевала Канас до действующей автомобильной трассы в районе озера Канас на территории Алтайского округа, соседствующего с Синь-узян-Уйгурским автономным районом (СУАР) Китая. У СУАР и России 54 км общей границы. В соответствии с проектом все направления от г. Новосибирска до г. Урумчи (КНР) протяженностью 1989 км включает следующие пункты: Новосибирск – Новоалтайск (209 км) – Горно-Алтайск (227 км) – Кош-Агач (454 км) – пер. Канас (граница, 195 км) – оз.Канас (84 км) – Синхулуки, Урумчи (830 км). Таким образом, 1075 км трассы Новосибирск – перевал Канас на границе с Китаем, из них новый участок дороги 195 км проходит по территории России и 914 км – по территории Китая [1].

Рассматриваемая трасса является важным фактором развития транспортных коммуникаций регионов Западной Сибири (Омской, Новосибирской, Томской, Кемеровской областей, Алтайского края, Республики Алтай), регионов Центральной и Северо-Западной России, прежде всего Москвы и Московской области, Санкт-Петербурга и Ленинградской области, Уральского Федерального округа (Тюменской, Челябинской и Свердловской областей), а также Пермской и Самарской областей.

Таким образом, в случае реализации проекта Чуйский тракт будет обслуживать торговый транзит Западной Сибири, Урала и Европы в СУАР и далее в Центральный Китай, и к существенному грузопотоку на Монголию прибавиться грузопоток на Китай по количеству перевозок превышающий существующий более чем в два раза и сосредоточенный в Новосибирском мультимодальном транспорте узле.

Автодорожный транспортный комплекс предполагается использовать для продвижения из России товаров добывающих отраслей (МС, уголь, металл, газ, нефть), перерабатывающей промышленности, машиностроения и другой высокотехнологичной продукции. Алтай-

ский край кроме этого может поставлять в Китай продукцию животного происхождения, древесину, оборудование.

Китайская сторона предлагает для России полимерные материалы, пластмассовые изделия, строительные и керамические материалы, текстиль и другие товары.

Таким образом, выстраивается международный транспортный коридор с выходом из Китая: автомобильный транспорта – речной флот – железнодорожный транспорт – смешанные суда «река-море» плавания или морской транспорт с выходом на СМП и обратно в Китай.

В этой ситуации г. Новосибирск выступает в новом качестве и рассматривается как основной транспортно-информационный узел восточных регионов России и как база для формирования грузовых потоков в Обь-Иртышском меридиональном российском транспортном коридоре [2].

Такое положение города Новосибирска объясняется его выгодным географическим положением, а также пересечением в городе железнодорожной магистрали (Транссиб) с водной транспортной артерией (река Обь). Новосибирск естественно вписывается в систему международных транспортных коридоров, как действующих, так и перспективных. Помимо воздушных сообщений со странами Юго-Восточной Азии, Северной Америки и Западной Европы, Новосибирск через Транссиб связан с Европой и Дальним Востоком, на участке Республики Горный Алтай с Китайской Народной Республикой (КНР), а также с Монголией.

Обладая высоким промышленным и финансовым потенциалом, Новосибирск имеет все предпосылки претендовать на превращение города в мультимодальный транспортный узел, где сосредоточены все необходимые институты для товародвижения, включая транспорт, терминальное и складское хозяйство, финансы, страхование, телекоммуникации и т.д.

Город Новосибирск является центром международных автомобильных перевозок Сибири. В соответствии с решением Европейской комиссии министров транспорта (ЕКМТ) автомобили области имеют право беспрепятственной перевозки грузов между странами входящими в ЕКМТ, включая перевозки между странами Западной Европы, а также в Китай, Монголию, Иран, Финляндию, Францию, Италию, Германию, Великобританию.

Перевозки грузов из Западного Китая в Россию и зарубежные страны Европы возможны по трем направлениям: автомобильным транспортом до Бийска, Барнаула или Новосибирска. При этом мелкопартионные грузы целесообразно отправлять через Бийский порт и частично Барнаульский. Массовые грузы, контейнеры – через Новосибирский порт.

По реке Обь от Бийска, Барнаула до Новосибирска на расстоянии 675 км перевозка грузов осуществляется в составах 300+1000 или 450+2×1000. От Новосибирска до устья реки Томи работают составы 600+4×1000, 600+2×2800. От устья реки Томи до Салехарда – составы 2000+4×2800 и 2000+6×2800. В Обской и Тазовской губах работают суда смешанного «река-море» плавания. Из Нового порта по СМП в Европу работают морские суда или суда смешанного «река-море» плавания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Куксин, А.И.** Адаптация проекта организации прямого автомобильного сообщения между Сибирским Федеральным округом и Западным Китаем к современным экономическим и институциональным условиям [Текст]: / А.И. Куксин // -Новосибирск, 2006. -57 с.

2 **О стратегии транспортного освоения Сибири** [Текст]: / Под ред К.Л.Комарова // -Новосибирск: Из-во СГУПС, 2003. -40 с.

УДК 656 (571.56)

КОНКУРЕНЦИЯ В СФЕРЕ РЕЧНЫХ ПЕРЕВОЗОК

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.И. Гладких

Проанализированы факторы определяющих уровень конкурентоспособности судоходных компаний.

На территории республики Саха (Якутия) количество хозяйствующих субъектов, осуществляющих деятельность на транспорте на основании лицензии составляет 5885 единиц, в том числе на автомобильном транспорте 5769 (то есть 98,0%), внутреннем водном транспорте 102 единицы (1,73 %), морском 5 единиц (0,085 %) и воздушном – 9 единиц (0,153 %).

Это создаёт конкурентную среду на транспорте, которая во многом определяет поведение каждой судоходной компании на всех уровнях управления. Стратегию компании в области организации грузопотоков невозможно выработать без анализа конкурентной среды на перевозках.

Анализ конкурентной среды является одной из важнейших задач рыночной экономики и применительно к судоходной компании сводится к следующему:

- выделение на общем рынке транспортных услуг локальных, относительно самостоятельных конкурентных рынков;
- установление основных факторов, существенно влияющих на уровень конкурентоспособности локальных рынков;
- установление степени монополизации каждого из локальных рынков;
- определение источников информации и состав характеристик этой информации о локальных рынках;
- ориентировочный выбор для конкретной судоходной компании для себя локального рынка или его отдельного сегмента.

Применительно к работе речного транспорта на территории Якутии можно выделить различные по характеру локальные транспортные рынки:

- по роду груза – перевозки сухогрузов и нефтеналива, перевозки навалочных и генеральных грузов, перевозки в открытом и закрытом тоннаже, перевозки специальных грузов и т.п.

- по направлениям перевозок: перевозки внутри бассейна и перевозки, следующие за пределы бассейна в речном флоте, перевозки в пункты малых рек и перевозки по Северному Морскому пути, перевозки грузов по участкам примерно с одинаковыми условиями плавания (Верхняя, Средняя и Нижняя Лена) и т.п.

- по времени предоставления услуг: перевозки в весенний, меженный, арктический и осенний периоды, перевозки грузов в период попуска воды из верхнего бьефе водохранилища в нижний и т.п.

К числу факторов определяющих уровень конкурентоспособности судоходных компаний относятся себестоимость перевозок, качество перевозок, наличие специализированных судов, степень их приспособленности производить перегрузочные работы у необорудованного берега и т.п.

Для условий севера крайне важно установить для локального рынка степень монополизации и отрегулировать на этом рынке тарифную политику.

В качестве источника информации и ее характеристик на современном этапе используются сведения из Главных бассейновых Управлений водных путей и судоходства, которые

располагают необходимой информацией обо всех перевозках и перевозчиков бассейна.

Выбор судоходной компанией локального рынка или его сегмента осуществляется окончательно после оценки конкурентоспособности компании на каждом из существующих локальных рынков бассейна.

Конкурентоспособность на транспорте следует понимать, насколько эффективно та или иная транспортная компания удовлетворяет потребности клиента, по сравнению с другими компаниями, предлагающими сходную услугу.

Компании конкурируют друг с другом разными способами. Основные из них следующие: цена услуги, качество, специфические особенности услуг, сервисная направленность, сроки выполнения определенных транспортных операций.

Цена представляет собой сумму, которую заказчик должен заплатить за оказанную услугу. Транспортные компании, которые конкурируют по цене, могут устанавливать более низкую цену за счет снижения показателя прибыли, но большинство из них старается снизить затраты на услугу.

Качество услуги обычно связывают с оценкой грузоотправителя и грузополучателя, насколько хорошо оказанная транспортная услуга будет служить своей цели.

Специфические особенности могут относиться к любой услуге (перевозка крупногабаритных и тяжеловесных грузов в контейнерах или пакетах, доставка «от двери до двери», перевозка в труднодоступные места и т.п.), которая заставляет грузоотправителя и грузополучателя считать услугу более подходящей, чем услуга конкурента.

Сроки выполнения услуги рассматриваются, насколько быстро транспортная компания выполняет заявку клиента.

Конкурентная среда создает конкуренцию. На транспорте республики Саха (Якутия) можно выделить и анализировать два вида конкуренции: межвидовая и внутривидовая.

Межвидовая конкуренция – это конкуренция между видами транспорта: речным и железнодорожным в районе Верхней и Средней Лены и Амуро-Якутской железнодорожной магистрали, между морским и речным транспортом при перевозках грузов на реки Северо-Востока Якутии, а также между речным и автомобильным транспортом в районах, прилегающих к внутренним водным путям. Однако следует отметить, основываясь на результатах анализа работы транспортной системы республики, что водный транспорт на Севере является безальтернативным. Ни автомобильные дороги сегодня, ни железная дорога в будущем не смогут конкурировать с речным транспортом по проходимости и объемам. А суда необходимого класса, способные ходить в Арктике, есть только в Ленском объединенном речном пароходстве.

Внутривидовая конкуренция рассматривается в работе как конкуренция между судоходными компаниями, работающими в Ленском бассейне. Методов оценки конкурентоспособности услуг судоходных компаний существует несколько. Однако в основе каждого из представленных в научной литературе по речному транспорту лежат основополагающие работы Р.А. Фатхутдинова [1].

Суть такой оценки сводится к следующему. Конкурентоспособность судоходной компании определяется по отношению к конкретному рынку либо к конкретной группе потребителей. Ее желательно измерять количественно, чтобы имелась возможность управлять ее уровнем. Для измерения конкурентоспособности судоходной компании требуется и качественная информация, которая характеризует полезный эффект анализируемой судоходной компании и судоходных компаний – конкурентов.

Под полезным эффектом следует понимать ту отдачу судоходной компании, посредством которой она удовлетворяет конкретную потребность грузополучателя. Это совокупность свойств судоходной компании, которые используются для выполнения конкретной работы.

С другой стороны, чтобы получить полезный эффект судоходная компания будет нести совокупные затраты, которые также следует учитывать.

Показатель эффективности судоходной компании рекомендуется вычислить исходя из выражения

$$E = \frac{\Pi_k}{3},$$

**КОНКУРЕНЦИЯ
В СФЕРЕ РЕЧНЫХ ПЕРЕВОЗОК**

где Π_k – полезный эффект для клиента в результате выполненной перевозки, отнесенный к одной тонне груза;

z – затраты клиента на перевозку и сопутствующие ей услуги к одной тонне груза.

Полезный эффект от транспортной услуги для грузополучателя складывается из совокупности составляющих, которые не все можно выразить количественно. Основные составляющие полезного эффекта следующие: от перемещения грузов, от сокращения сроков доставки, от повышения сохранности грузов, от улучшения ритмичности поставок, от повышения надежности доставки грузов, от повышения уровня сервиса. Составляющие, которые нельзя выразить через формальные зависимости устанавливаются экспертным путем, через коэффициенты полезности путем использования системы баллов, установленных заранее, с учетом влияния каждой из составляющих на конечный результат.

Таким образом полезный эффект можно рассчитать следующим образом:

$$\Pi_k = \sum_i \Pi_i + b \sum_j k_j \alpha_j$$

где $\sum_i \Pi_i$ – сумма показателей составляющих, имеющих формальные зависимости;

$\sum_j k_j \alpha_j$ – сумма показателей составляющих, не имеющих формальных зависимостей;

k_j – балльная оценка j -ой составляющей;

α_j – весовой коэффициент, присвоенный j -ой составляющей ($\sum_j \alpha_j = 1,0$);

b – переводной коэффициент системы баллов в стоимостной показатель.

Определение величины z не представляет существенных методических трудностей и рассчитывается исходя из зависимости

$$z = d + S_{пр},$$

где d – тарифная ставка судоходной компании на перевозку одной тонны груза с учетом дополнительно представленных ею услуг;

$S_{пр}$ – стоимость сопутствующих перевозкам услуг, отнесенная к одной тонне перевозимого груза.

Показатель конкурентоспособности судоходной компании, исходя из приведенных выше рассуждений, рекомендуется рассчитывать следующим образом

$$\gamma_c = \frac{E_i}{E_{баз}},$$

где E_i – показатель эффективности i -ой судоходной компании;

$E_{баз}$ – показатель эффективности перевозочной услуги судоходной компании принятой в качестве базы для сравнения.

Меры, которые могут поднять конкурентоспособность транспортной компании, сводятся к следующему.

1 Уделять меньше внимания краткосрочным финансовым результатам и больше инвестировать в исследования и разработки транспортной компании.

2 Постоянно изучать стратегию конкурентов и совершенствовать собственную.

3 Признать ценность информационных связей с другими транспортными организациями.

4 Уделять больше внимания разработке транспортного процесса, обоснованию его остальных элементов на стадии эксплуатационно-экономического проектирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Фатхутдинов, Р.А.** Конкурентоспособность: экономика, стратегия, управление [Текст]: / Р.А. Фатхутдинов // -М.: ИНФА-М, 2000. -311 с.

УДК 656.624.3.004.69.001.18 (571.1)

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ ПОТРЕБИТЕЛЯМ ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.М. Бунеев, Ю.Г. Брюханов, Ю.А. Самахов

Приведены результаты обоснования рациональных схем доставки грузов в смешанном сообщении потребителям Ямало-Ненецкого автономного округа, полученные в рамках разработки отраслевой целевой программы развития водного транспорта на 2008-2010 г.г.

Задача обоснования рациональных схем доставки грузов водным транспортом при смешанных перевозках с участием железнодорожного транспорта решена в рамках разработки «Целевой программы развития водного транспорта Ямало-Ненецкого автономного округа на 2008-2010 г.г.» В качестве методологической основы при этом были приняты методические принципы логистики и системного подхода. Исследован полигон «Поставщик – потребитель», причём поставщик, как правило, находится за пределами Ямало-Ненецкого автономного округа. В результате установлены основные звенья логистической цепочки и последовательность выполнения анализа. В общем виде можно выделить следующие из них:

- определение потенциальных поставщиков необходимого рода груза и в нужном количестве;
- операции по закупке товаров и ресурсов;
- перевозка грузов по железной дороге;
- перевалка грузов на автомобильный или водный транспорт с выгрузкой в речных портах;
- концентрация грузов на накопительных базах, распределение по потребителям и определение сроков доставки потребителям;
- перевозка грузов по внутренним водным путям;
- перевалка на автомобильный транспорт;
- перевозка грузов автомобильным транспортом после перевалки с водного или железнодорожного транспорта;
- выдача груза получателю.

В зависимости от конкретных родов груза (товара и ресурса) намечены альтернативные варианты завоза и маршрутов движения материальных потоков. При определении (выборе) потенциальных поставщиков нефтепродуктов рассмотрены Омский, Пермский и Южно-Уральская группа нефтеперерабатывающих заводов, а также Сургутский завод моторного топлива, который производит дизельное топливо марки «ГШЗ». В качестве пункта концентрации нефтепродуктов, производимых Южно-Уральской группой заводов принята железнодорожная станция Уфа. На рисунке 1 приведены возможные (альтернативные) варианты схем доставки нефтепродуктов потребителям автономного округа. Следует отметить, что в пункты Тазовской губы, рек Пур и Таз на территории Пуровского, Тазовского и Красноселькупского районов из Омска и Сургута эти грузы могут быть завезены в прямом водном и в смешанном железнодорожно-водном (через Уренгой) сообщении, а в Надым в прямом железнодорожном и смешанном железнодорожно-автомобильном сообщении (через Новый Уренгой).

**ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ ПОТРЕБИТЕЛЯМ
ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА**

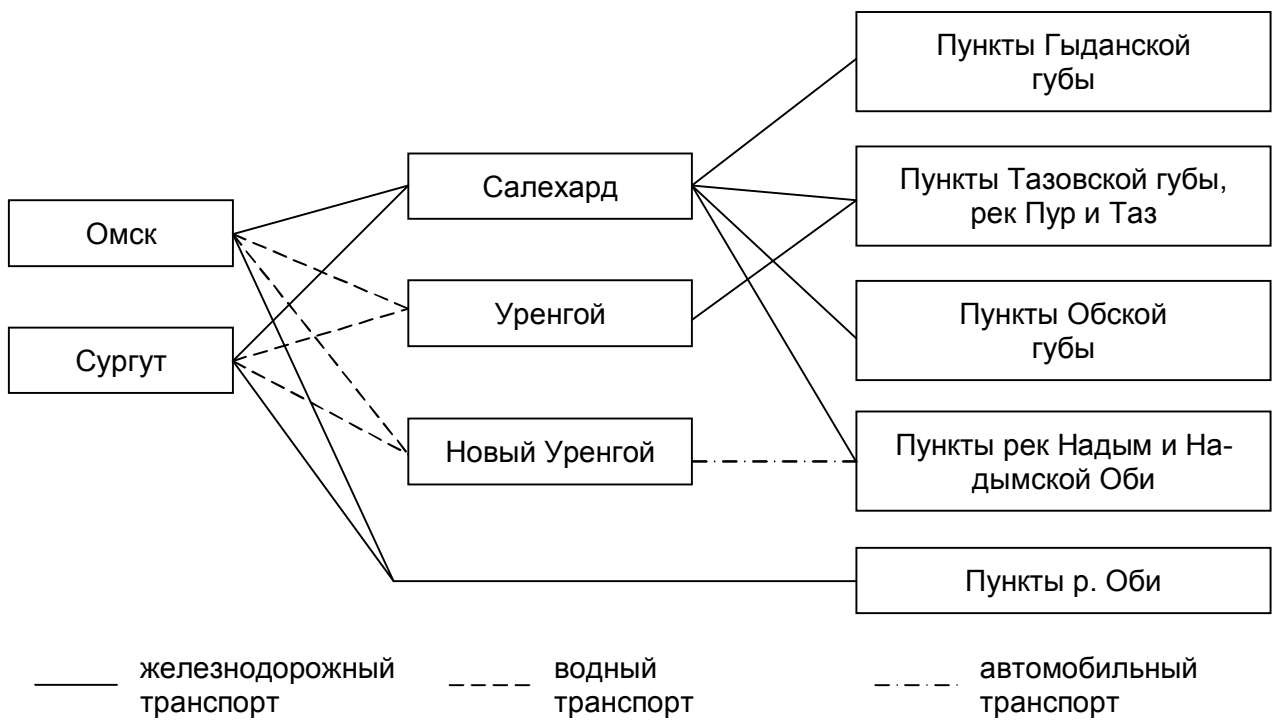


Рисунок 1 – Варианты схем доставки потребителям автономного округа продукции Омского нефтеперерабатывающего завода и Сургутского завода моторного топлива

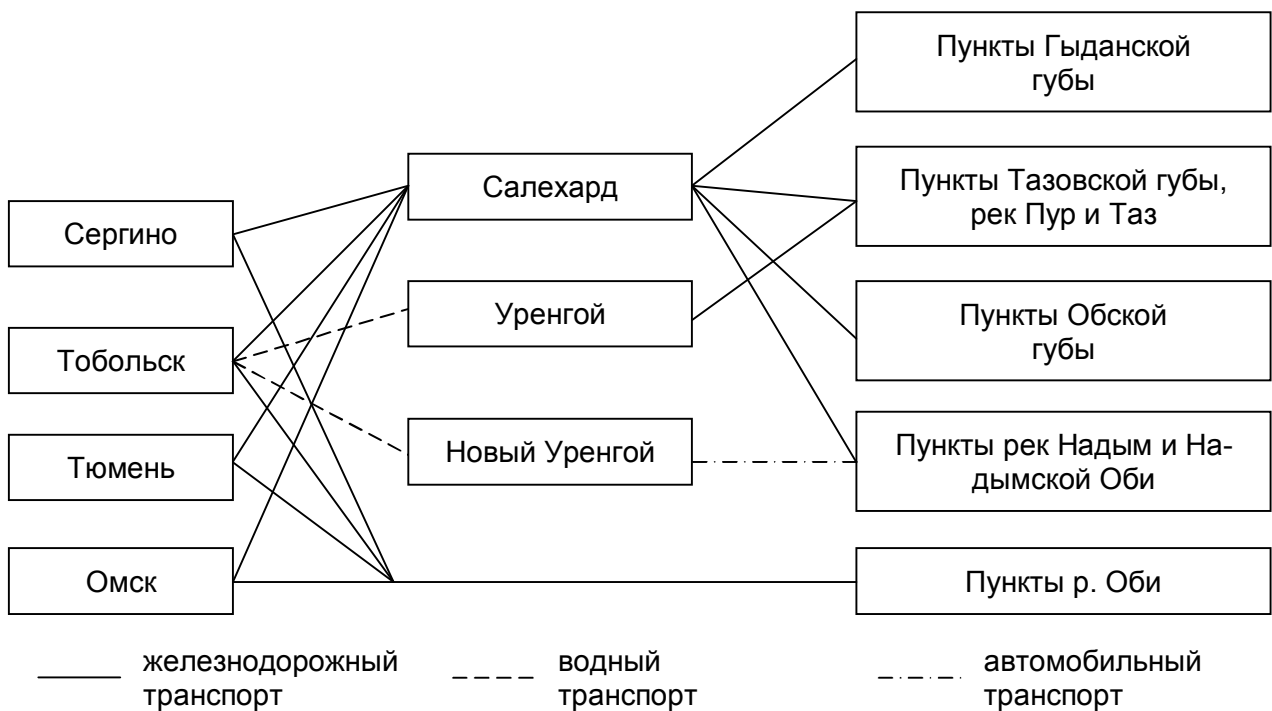


Рисунок 2 – Варианты схем доставки продуктов питания потребителям автономного округа

Анализируя потенциальных поставщиков каменного угля, рассмотрены шахты Воркутинского и Кузбасского угольных бассейнов. В обоих случаях имеет место перевозка грузов в смешанном железнодорожно-водном сообщении (за исключением г. Салехарда). В качестве поставщика каменного угля потребителям муниципальных образований округа до 2005 года выступала ОАО «Шахта Воргашорская» в составе Воркутинского бассейна, а с 2005 года – ОАО «Угольная компания «Кузбассразрезуголь». Уголь следовал из Кемерово железнодорожным транспортом до Новосибирска, где осуществлялась перевалка на речной транспорт. В качестве альтернативы возможна схема доставки с перевалкой в Томске.

Производство продуктов питания осуществляется на территории юга Тюменской области. Кроме того, в качестве поставщиков рассматриваются сельскохозяйственные и перерабатывающие предприятия Омской и Свердловской областей, а также других регионов Западной Сибири. Пунктами концентрации и отправления таких грузов являются Омск, Тюмень, Тобольск, Сергино и Лабытнанги.

Исследования всех этих вариантов при оценке схем доставки чрезвычайно трудоёмкая задача. Её решение осложняется отсутствием информации и необходимых нормативных материалов по данной проблеме. В результате оценки сложившейся ситуации было принято окончательное решение по выбору в качестве пункта отправления продуктов питания потребителям автономного округа Тобольск. Причём в пункты Тазовской губы, рек Пур и Таз возможна перевозка этих грузов в смешанном железнодорожно-водном сообщении (через Уренгой), а в Надым два варианта – прямое железнодорожное и смешанное железнодорожно-автомобильное (через Новый Уренгой).

В качестве критерия оценки эффективности при выборе рационального варианта схемы доставки грузов в смешанном сообщении принят показатель транспортных издержек потребителей, приходящихся на одну тонну груза. Выражением такого показателя является тариф на перевозку грузов с учетом выполнения всего комплекса операций транспортного процесса от отправителя до получателя.

Величина их принята на уровне 2006 года с учётом корректировки нормативных документов [1-4].

К указанным в этих документах тарифам применены повышающие коэффициенты, согласованные перевозчиками с Федеральным агентством морского и речного флота Министерства транспорта РФ по тарифам. В частности, по перевозкам сухогрузов речным транспортом в Обь-Иртышском бассейне принят повышающий коэффициент 40-42, по перевозкам нефтепродуктов – 60.

По железнодорожным тарифам также приняты соответствующие повышающие коэффициенты, а по участкам Сывдарма – Коротчаево, Коротчаево – Новый Уренгой – Табидеяха, Новый Уренгой – Пангода, Пангода – Надым (пристань) – специальные тарифы (получены в Администрации ЯНАО).

По перегрузочным работам в портах – пристанях за основу приняты действующие тарифы ОАО «Тобольский речной порт» (2006 г.), для портов Лабытнанги, Надым, Уренгой приняты к тарифам на перегрузку по Тобольску порту поправочные коэффициенты 1,30-1,35.

При перегрузочных работах с нефтепродуктами ориентировочно взята плата за перекачку нефтепродуктов по уровню Тобольского порта. При перевалке она удваивалась (перевалка через буферные емкости), по северным портам (Надым, Уренгой) к этой удвоенной ставке принимался поправочный коэффициент 1,5.

Тарифы речного транспорта учитывают начально-конечные операции и движущую составляющую. Они дифференцированы по роду груза, а также в зависимости от районов плавания (магистраль, малая река, морские участки плавания). В связи с этим пункты назначения были сгруппированы по направлениям перевозки. В основном эти группы совпадают с административно-территориальными делением ЯНАО.

Резкое различие тарифных ставок по магистральям, малым рекам и морским участкам вызвало необходимость расчетов не только тарифов на перевозку одной тонны груза по намеченным маршрутам, но и расчет суммы провозной платы и тоннокилометровой продукции (грузооборота) на заданные объемы перевозок (2010 год).

**ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ ПОТРЕБИТЕЛЯМ
ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА**

При определении средних тарифных ставок и средней дальности перевозок для однородных, с транспортно-географической точки зрения, пунктов назначения (или итогов по муниципальным образованиям), упомянутые показатели получены по средневзвешенной арифметической, как отношение суммы провозной платы и грузооборота к объему перевозок.

При сравнении перевозок в прямом железнодорожном сообщении (в Уренгой, Надым) с вариантом прямого водного сообщения в последнем случае учитывалась стоимость погрузки в суда в пункте отправления и ориентировочная стоимость выгрузки в пункте назначения. Это связано с относительно меньшей эффективностью и стоимостью перегрузочных работ на железнодорожном транспорте.

Предварительно были проанализированы все намеченные варианты, наименее эффективные и сложноосуществимые были исключены из рассмотрения. Так, анализируя схему доставки нефтепродуктов из Уфы, где производится высокооктановый бензин, в результате предварительной экспертной оценки установлено, что рациональным маршрутом является движение подвижного состава через Омск. Следовательно, можно принять в качестве пункта концентрации и пункта отправления нефтепродуктов Омского и Южно-Уральской группы заводов Омск. Поставка продукции Пермского нефтеперерабатывающего завода может быть осуществлена через Лабытнанги, Сергино или Тобольск. Однако в этих пунктах нет причалов для перегрузки нефтепродуктов с железнодорожного на водный транспорт и в ближайшем будущем не планируется их строительство. Следовательно, эти варианты схемы доставки могут быть рассмотрены на перспективу за пределами 2010 года.

На основе анализа результатов расчёта транспортных издержек потребителей нефтепродуктов в виде тарифной платы за их доставку определены рациональные варианты схем доставки из числа рассмотренных альтернатив. Так, при доставке нефтепродуктов из Омска в пункты Малой и Большой Оби Шурышкарского района, пункты устьевого участка Оби Приуральского района, в г. Салехард, пункты Хаманельской Оби и Обской губы Ямальского района, пункты Надымской Оби и в г. Надым, пункты Тазовской губы рациональным вариантом является прямое водное сообщение. Смешанное железнодорожно-водное сообщение предпочтительнее на перевозках этих грузов в пункты реки Таз (Тазовское, Красноселькупск, Толька), реки Пур (Самбург). В качестве пункта перегрузки нефтепродуктов с железнодорожного транспорта на водный может быть Уренгой, после строительства специализированных причалов. Рассмотренный вариант перевозки нефтепродуктов из Омска в г. Надым в прямом железнодорожном сообщении экономически не выгоден. Тариф здесь выше на 578 рублей по сравнению с вариантом прямого водного сообщения.

Аналогичные выводы получены при анализе результатов расчета критерия эффективности по вариантам схемы доставки дизельного топлива марки «ГШЗ» из Сургута. Перевозка его в железнодорожно-водном сообщении здесь рекомендована только в пункты реки Пур (Самбург и Халасовей). Во все другие пункты потребления дизельного топлива при доставке его из Сургута рациональным вариантом является прямое водное сообщение.

При обосновании схемы доставки каменного угля потребителям муниципальных образований Ямало-Ненецкого автономного округа рассмотрены три варианта. Первые – из Воркутинского бассейна в смешанном железнодорожно-водном сообщении с перевалкой в Лабытнангах, второй и третий – из Кузбасского угольного бассейна с перевалкой в Новосибирске и Томске, соответственно. Рациональным является первый вариант. Второй и третий варианты равнозначны при доставке каменного угля в пункты р. Оби Шурышкарского и Приуральского районов, а в другие пункты (Ямальский и Тазовский районы) предпочтительнее третий вариант с перевалкой в Томске.

Пунктом концентрации и отправления грузов, относимых к продуктам питания, выбран Тобольск. Рассмотрены два основных варианта, схемы их доставки - прямое водное сообщение и смешанное железнодорожно-водное. При доставке продуктов питания в пункты рек Пур и Таз, а также Тазовской губы рациональным является второй, с перевалкой грузов с железнодорожного на водный транспорт в Уренгое. Во всех остальных, кроме г. Надыма, предпочтительнее прямое водное сообщение.

При рассмотрении схемы доставки продуктов питания в г. Надым оказалось, что вари-

ант прямого железнодорожного сообщения оптимальный. Тариф здесь ниже на 136 рублей, чем в прямом водном сообщении.

На следующем этапе экономического обоснования схемы доставки грузов в смешанном сообщении более детально исследованы варианты грузовых перевозок в г. Надым, пункты рек Пур, Таз и Тазовской губы. Это обусловлено тем, что в тарифах водного транспорта не учтены затраты на дноуглубительные работы и содержание судоходной обстановки. Величина их определена Ямало-Ненецким окружным управлением водных путей и судоходства. При сравнении вариантов прямого водного сообщений затраты по путевой составляющей водного транспорта в одинаковой степени увеличивают общие транспортные издержки. Следовательно, выводы в отношении выбора рационального варианта не изменяются, исключение составляет доставка грузов в г. Надым. Ежегодно по реке Надым перевозится 110-115 тыс. т грузов, а удельные затраты на содержание водных путей и обеспечение безопасности судоходства определены на уровне 400-417 руб./т. Тогда с их учетом тариф по нефтепродуктам составит 1907-1924 руб./т против тарифа в прямом железнодорожном сообщении 2085 руб./т. Следовательно, рациональным вариантом схемы доставки остаётся прямое водное сообщение.

Реализация на практике рекомендуемых рациональных вариантов схем доставки грузов в объеме потребности в 2010 году муниципальных образований Ямало-Ненецкого автономного округа позволит снизить транспортные издержки на 26,24 млн. рублей. По отдельным грузам это снижение составит: нефтепродукты – 10,67 млн. руб, каменный уголь – 5,57 млн. руб и продукты питания – 10,00 млн. руб. Таким образом, повышается эффективность грузовых перевозок и надежность транспортного обслуживания региона в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Тарифное руководство № 4, МПС [Текст]:** книги 1, 2, 3. / -М.:Транспорт, 1985. - 1970 с.
- 2 **Прейскурант № 10-01. Тарифы на перевозки грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые Российскими железными дорогами. Тарифное руководство №1 [Текст]:** часть I и II, 2003. -620 с.
- 3 **Прейскурант №14-01. Тарифы на перевозки грузов и буксировку плотов речным транспортом [Текст]:** Госкомцен СССР, Прейскурантиздат. 1989. -478 с.
- 4 **Тарифное руководство № 4-Р. Тарифные расстояния речных пароходств Обь-Иртышского бассейна [Текст]:** / -М.:Транспорт, 1987. -247 с.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

УДК 656.623(571.56)

РАЗВИТИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РЕГИОНАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ ЯКУТИИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.Г. Панова

Основу развития экономики республики будут определять пять крупных комплексов – алмазно-бриллиантовый, топливно-энергетический, лесопромышленный, транспортный и научно-информационный.

Географическое положение региона, климатические условия, размещение производственных сил на его территории определяют достаточно высокую степень зависимости экономики Якутии от работы транспорта. Основной транспортной магистралью является река Ле-

на.

Ее протяженность от Байкальского хребта до Ледовитого океана 4400 км., по длине она входит в мировую десятку гигантов. Впечатляет ее бассейн – 2490 тыс. км², здесь она на восьмом месте в мире. Она собирает в свое лоно 240000 рек и речек, суммарная длина которых превышает миллион километров.

Освоение бассейна реки Лена известно с XVII века, когда по сибирским просторам двинулись русские землепроходцы.

Согласно архивным документам первое упоминание об образовании речной пристани в г. Якутске – 25 сентября 1900 года, в составе почтово-пассажирского пароходства Иркутской 1-й гильдии купца Николая Егоровича Глотова.

Эта пристань просуществовала до 1930 года.

Якутская пристань начала развиваться в годы первых пятилеток, в период с 1929-1939 гг. тогда были построены: здание конторы, пять складов площадью 2117 м², грузовые площадки площадью 1519 м². Все сооружения пристани, в том числе и проезжая часть были сделаны из дерева.

В 1940 году для ремонта транспортной механизации, на пристани были построены примитивные мастерские, состоящие из трех цехов: механического, столярного и кузнечного.

До 1953 года пристань имела 8 причалов общей протяженностью 660 м, эти причалы представляли из себя естественный берег, частично затопляемый весенним паводком, на котором выгрузка производилась в основном кранами типа «Старый Бурлак», транспортерами и вручную. В период 1953-1957 гг. в состав Якутской пристани были переданы Якутские судоремонтные мастерские, Якутская пристань Северо-Якутского пароходства и «Лензолотофлота», эксплуатационный участок Управления малых рек при Совете Министров ЯАССР, Якутский узел связи и типография Ленского пароходства.

Вместе с тем Якутск быстро развивался, а это естественно, влечет за собой рост поступления грузов, перерабатываемых на причалах Якутской пристани. В связи с укрупнением, а так же значительным увеличением грузооборота в 1959 году пристань была переименована в Якутский речной порт и министерством речного флота РСФСР было принято решение о строительстве нового речного порта.

В первую очередь сооружалась оградительная дамба, от ввода которой зависели разработка канала, намывка территории, рытье котлована для ряжей, их установка и др. Опыта строительства гидротехнических сооружений в условиях вечномерзлых грунтов не было. Однако при активной помощи горожан городская протока 14 октября 1960 года была перекрыта. Затем была построена ряжевая стенка, подходной канал, установлены первые краны.

Первая погрузка и разгрузка флота на причалах нового порта была осуществлена в 1966 году.

К концу 1967 года уже эксплуатировались: оградительная дамба, акватория, подходной канал, вертикальная ряжевая стенка с подкрановыми путями, бетонированная территория площадью 16000 м².

В настоящее время Якутия представляет собой как один из интереснейших регионов в России и не только.

Основу развития экономики республики будут определять пять крупных комплексов – алмазно-бриллиантовый, топливно-энергетический, лесопромышленный, транспортный и научно-информационный. Экономическая политика в республике направлена на стабилизацию и закрепление положительного роста, дальнейшее развитие рыночных отношений, углубление преобразований, создание благоприятной инвестиционной обстановки, подготовки высококвалифицированных кадров.

Расширится участие республики на рынке Дальнего Востока, Сибири за счет увеличения поставок угля, электроэнергии, продукции гранитной, ювелирной и деревообрабатывающей промышленности. Основу развития экономики республики будет определять функционирование алмазно-бриллиантового, топливно-энергетического комплексов при приоритетном и опережающем росте добычи и переработке нефти и газа, лесопромышленного и транспортного комплексов с одновременным развитием других отраслей, нацеленных на экспорт и внутренний рынок. Проводится техническое перевооружение, технологическая

реконструкция и полное задействование производственных мощностей.

Организация взаимодействия всех видов транспорта на современном этапе – главный элемент управления транспортным процессом в региональном масштабе. Основой экономической координации является система планирования перевозок, позволяющая обоснованно определять потребности в перевозках и правильно распределять их по видам транспорта таким образом, чтобы обеспечить полное и своевременное удовлетворение всех потребностей в перевозках при наиболее эффективном использовании каждого вида транспорта с учетом рациональных форм использования. Так же необходимо установление согласованных тарифов на перевозки разными видами транспорта.

В развитии транспорта предстоит преодолеть недостатки проявляющиеся в отставании транспорта от потребностей в перевозках, ограниченной пропускной способности главных магистралей речного, морского и автомобильного транспорта, сезонности работы транспортной сети, диспропорциях внутриотраслевой производственной структуры. Все более важное место приобретает разработка и внедрение новых транспортных технологий и техники, вопросы согласования и кооперирования деятельности различных видов транспорта и перераспределения между ними объемов перевозок.

Повышенные транспортные затраты и кредитоемкость завоза имеют следствием высокую стоимость получаемых предприятием предметов и средств труда, составляющих основу их производственных затрат, а так же товаров народного потребления в торговой сети и соответственно высокую стоимость рабочей силы. В сочетании с большими расходами на энергоносители, это резко снижает конкурентоспособность конечной продукции отраслей народного хозяйства Якутии и ставит под сомнение создание новых производств. В этих условиях Республика должна коренным образом пересмотреть всю инфраструктуру транспорта и схему завоза грузов на территорию Республики.

В России должна быть единая экономическая политика в отношении Севера. Якутия более всего пострадала во времена перестройки и сейчас для оживления необходимо привлекать сюда не только инвестиции, но и новых людей, а для этого необходимо сделать так, чтобы была привлекательной оплата труда. Для решения этих проблем нужна всемерная поддержка правительства России, программы привлечения инвестиций, обновление производственных мощностей.

Необходимость совершенствования транспортной системы Республики Саха (Якутия) очевидна. Организация товародвижения зависит от места нахождения поставщиков и покупателей, свойств товаров, принятой схемы товародвижения, вида используемых транспортных средств.

Разрушение единой транспортной системы СССР привело к нарушению ритма перевозочного процесса, увеличение доли транспортной составляющей в цене конечного товара, в связи с этим необходимо добиться того, что бы предельная величина транспортных издержек не привела к снижению конкурентоспособности продукции на рынке товаров.

В этих условиях особое значение приобретает рационализация производства и потребления, организация перевозок с минимальными сроками доставки и затратами, совершенствование транспортного обслуживания.

Решая проблемы организации работы, экономики и взаимодействия элементов транспортной системы, целесообразно разработать методики по совершенствованию управления транспортными комплексами, что бы определить приоритеты различных видов транспорта, пути рационального и сбалансированного подхода в стратегии развития структурных изменений и наиболее эффективных моделей создания транспортных узлов отвечающих современным требованиям.

В условиях рыночных отношений существенно возрастает роль логистики в управлении материальными потоками. Логистический подход – это определение оптимального количества, интервала и направления перевозок продукции с учетом взаимных интересов поставщика и потребителей, развитие коммерческих, транспортно-экспедиционных и информационных услуг. Создание определенной последовательности в транспортировке, координации и управление поставками и перевозками грузов.

При этом логистика рассматривается в качестве необходимого элемента решения на-

**РАЗВИТИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РЕГИОНАЛЬНОЙ
ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ ЯКУТИИ**

зревших проблем. Логистика отражает производственную инфраструктуру экономики с точки зрения четкого взаимодействия спроса, снабжения производства, транспорта и распределения продукции. Она начинается от источника сырья или производителя, продолжается через обращение материалов и полуфабрикатов в рамках производственного процесса и заканчивается доставкой готовой продукции потребителям. Логистика предусматривает необходимость обеспечения требуемого объема товаров необходимого качества в нужное время и в нужном месте.

Все участники данного логистического процесса, включая и транспортные все больше сближаются друг с другом по качеству и цене предоставляемых товаров и услуг. В этих условиях появляется потребность в обеспечении высокой конкурентоспособности, тогда транспортировка с высоким качеством доставки и в самые короткие сроки рассматривается в качестве фактора успешной рыночной направленности. Интегрированные транспортно-технологические системы доставки продукции должны объединять интересы отправителя, транспорта и получателя.



Рисунок 1 – Схема экономического взаимодействия на доставке грузов в регионе

Только на принципах сочетания государственной транспортной политики и развития логистического центра на базе Министерства Транспорта и связи Якутии возможно качественное и эффективное транспортное обслуживание северных регионов. С учетом современных возможностей средств связи необходимо оснащение и внедрение мировых новинок для работы всех видов транспорта и оперативного управления логистического центра. Так как на сегодняшний день истина высказанная Наполеоном – кто владеет информацией, тот владеет миром, как нельзя лучше подчеркивает роль средств связи для осуществления эффективного функционирования этапного принятия решений от логистического центра до исполнителя, и как следствие скорейшего оказания услуг потребителям, то есть оказание услуг нам с вами.

В этих условиях организация эффективного взаимодействия решает не только экономическую задачу, но также повышает организационную дисциплину, создает основу для нового уровня организационной культуры. В свою очередь без повышения организационной дисциплины невозможно эффективное взаимодействие. Опыт прошлых лет показывает, что внедрение системы взаимодействия требует длительной кропотливой совместной работы. Слаженная координация не возникает под страхом административной или экономической ответственности.

Таким образом, рациональная организация взаимодействия – многоэтапный процесс, связанный с разработкой форм, условий, нормативов, средств совместной эффективной работы.

Научно-практические проблемы по перевозке грузов и работы транспортных узлов в условиях Сибири и Дальнего Востока, в частности Якутии разрабатывались учеными НИИВТ-НГАВТ В.П. Зачесовым, М.К.Сорокиным, В.П.Носовым, А.Н. Поспеловой, С.Б. Требуховым и др. В последние годы вопросы взаимодействие транспортных отраслей рассматриваются с точки зрения нового научного направления – логистики и мультимодальных перевозок – Е.А. Королевой, В.И. Сергеевым, В.Г. Филоненко, В.М. Бунеевым, В.Н. Костровым, В.С. Никифоровым, Ю.В. Турищевым и др.

В республике Саха (Якутия) многие научные наработки ученых были внедрены в практическую деятельность транспортных предприятий. Внедрение в производственную дея-

тельность научно обоснованных и передовых методов является одним из основных критериев повышения эффективности и дальнейшего развития транспортного комплекса республики. Долженко Ю.А., Минеев В.А., Филоненко В.Г., Панова А.Г., Алипа В.Л., Парнищев С.Г., Малюшин М.С., Степанов В.И., Попов А.С., и многие другие не только провели научные исследования в области транспортных перевозок, но в практической деятельности показали эффективность взаимодействия науки и практики.

Вместе с тем требуются новые разработки по проблеме взаимодействия внутреннего водного и наземных видов транспорта с учетом регионального аспекта, перспектив развития экономики региона и транспортной инфраструктуры в условиях формирования рынка транспортных услуг.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

УДК 656.623(571.56)

УРОКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА В РЕШЕНИИ КРУПНЫХ ПРОБЛЕМ ХОЗЯЙСТВЕННОГО ОСВОЕНИЯ СИБИРИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.А. Виниченко

Важной объективной особенностью речного транспорта является использование естественных водных путей со сравнительно небольшими затратами на их приспособление для целей судоходства и выполнения перевозок. Эта особенность предопределяет пионерное значение речного транспорта в начальном хозяйственном освоении отдаленных и труднодоступных районов Сибири.

Пионерная роль освоения природных богатств и территорий является, безусловно, почетной задачей речников, но одновременно она обуславливает и высокую ответственность, и создает серьезные объективные сложности и трудности в повседневной деятельности этого вида транспорта. Суть дела заключается в том, что тесная связь с естественными природными речными магистралями вызывает и вынужденную зависимость от природно-климатических условий.

В отличие от железных и автомобильных дорог каждая речная магистраль – это свой специфический и сложный гидрографический мир, свои объективные параметры путевого хозяйства: габариты пути, условия уровня режима, скорость течения, продолжительность физической навигации, береговые подходы, устойчивость русла и т.п., а, следовательно – гораздо большее по сравнению с другими видами транспорта многообразие типов подвижного состава и способов организации перевозок с целью достижения наиболее полного использования и практической реализации объективно имеющихся возможностей.

Кроме того, сама по себе пионерная роль предопределяет высокую динамичность и изменчивость, неустойчивость во времени и пространстве, как самих грузопотоков, так и требований к материально-технической базе.

За последние полвека речному транспорту Сибири выпало решать следующие наиболее крупные хозяйственные проблемы:

– Массовое развитие заготовок леса в северных приречных районах и вывоз древесины к деревообрабатывающим и лесоперевалочным комбинатам, расположенным в местах стыка водных путей с железными дорогами;

– Освоение целинных и залежных земель в средней и южной части Сибири и доставка

выращенного на них зерна в пункты сосредоточенного хранения и переработки;

– Обустройство нефтегазодобывающих районов Западной Сибири и строительство сети нефте- и газопроводов;

– Завоз грузов, требующихся для строительства Байкало-Амурской железнодорожной магистрали и освоения зоны БАМа;

– Доставка оборудования и других разнообразных товарно-материальных ценностей (ТМЦ) для развития горнодобывающей промышленности, в том числе таких гигантов мирового значения, как Норильский горно-металлургический комбинат (цветные металлы), компания «Алроса» (добыча алмазов), золотодобывающие и оловодобывающие комплексы Северо-Восточной Сибири, крупнейшие гидроэлектростанции и др.

В настоящее время разворачивается крупномасштабное освоение новых газовых и нефтяных месторождений и создание трубопроводной системы «Восточная Сибирь – Тихий океан». Объективно необходимым будет участие речного транспорта и в реализации других перспективных проектов развития Сибири - создание железнодорожной магистрали на Якутск – Анадырь – Аляску, строительство новых гидроэлектростанции и т.п., что обуславливает актуальность осмысления накопленного опыта, извлечения из него уроков на будущее.

Основным таким уроком надо признать объективную неизбежность и пионерность, пиковость возникающих потребностей в перевозках речным транспортом с их изменчивостью и неустойчивостью во времени и пространстве, что обязательно надо учитывать как в развитии материально-технической базы, так и во всей организации работы по транспортному обслуживанию.

За истекшие полвека наибольшей устойчивостью и продолжительностью характеризовались грузопотоки лесных грузов в судах и плотках, однако и они, достигнув пика в 1965-1970 гг., постепенно по мере исчерпания лесосырьевой базы в непосредственно приречных районах уже к 1985-1990 гг. постепенно затухали, а большая часть лесоперевалочных комбинатов – ликвидирована.

Перевозки зерна, доходившие в отдельных бассейнах до 2,5-3 млн. т за навигацию, уже в начале семидесятых годов по мере развития сети автомобильных дорог были почти полностью переключены на автотранспорт. Неоднократно выполненные расчеты не позволяют надеяться на обеспечение их конкурентоспособности и возврат для речного транспорта.

Ярко выраженный пиковый характер имеют и грузопотоки, связанные с обеспечением освоения нефтегазодобывающих районов Западной Сибири и строительством Байкало-Амурской железнодорожной магистрали, крупных гидроэлектростанций и т.п.

Вследствие того, что каждая из перечисленных хозяйственных проблем была связана с пиковыми пионерными и кратковременными перевозками специфических грузов, предъявляющих весьма различные требования к типам судов и др. элементам материально-технической базы (доставлять пришлось в одной ситуации – лесные грузы, в другой – зерно, в третьей - сырую нефть, трубы, стройматериалы и т.п.), а подготовительный период к ним был минимальный или вообще отсутствовал, эффективность собственно транспортного обслуживания по объективным обстоятельствам не могла быть высокой:

а) Типы судов наскоро переоборудовались или перегонялись из других бассейнов и не соответствовали в полной мере ни путевым условиям эксплуатации, ни требованиям грузопотоков, быстро выходили из строя. Некоторые буксирные пароходы проекта №732, перегнанные из европейских бассейнов, вследствие тяжелых повреждений, полученных при переходе по Северному морскому пути, вообще не использовались больше на транспортной работе; большую часть несамоходных судов после трех навигаций на перевозках сырой нефти из-за большого накопившегося «мертвого» остатка глинистой нефтесодержащей массы пришлось изрезать на металлолом и т.п., что не обеспечивало десятой доли нормальной амортизации и вызывало значительное увеличение текущих расходов;

б) Непропорциональность наличного состава различных видов флота, в частности, буксиров-толкачей и несамоходных барж, а также берегового хозяйства не позволяла достичь оптимального их использования;

в) При доставке вынужденно допускались большие потери грузов, как товарно-

материальных ценностей, и ухудшение их качества: развевание ветром зерна с несамоходных барж; сбрасывание круглого леса в акваторию лесоперевалочных баз методом кренования судов; выгрузка гравия, труб, каменного угля и др. грузов плавкранами непосредственно в воду у необорудованного берега, где значительная их часть заносилась песком и илом и безвозвратно терялась и т.п.;

г) Запаздывание со сроками финансирования, проектирования и строительства береговых устройств зачастую приводило к тому, что многие из этих объектов вводились в строй, когда потребность в них уже практически теряла свою актуальность. Так произошло со многими причалами зерноприемных пунктов, Нижневартовским и др. портами в Обь-Иртышском бассейне, причалами на Верхней Ангаре и др., которые остались практически неиспользуемыми памятниками бесхозяйственности, требующими значительных расходов на свое содержание.

Поэтому следует очень осторожно подходить к созданию постоянных береговых устройств, особенно в пунктах назначения и обязательно учитывать предполагаемый их жизненный цикл, требуемую степень капитальности и объективно длительные сроки проектирования и строительства вследствие особой сложности гидротехнических сооружений, поскольку подобные задачи пионерного значения речному транспорту предстоит решать еще не раз. Рассчитывать же на то, что речной транспорт в Сибири может стать постоянной опорной основой транспортной системы, увы, в современных условиях не приходится. Выполнив свою пионерную роль, ему неизбежно придется уступить свое место другим более надежным и круглогодичным видам транспорта.

В современных условиях значимость товарно-материальных ценностей как ограниченных ресурсов существенно возросла, а их цены освобождены от прежних льгот и приведены к мировому уровню, поэтому рациональное их использование и недопустимость необоснованных потерь приобретает первостепенное значение.

При завозе труб для создаваемой трубопроводной системы «Восточная Сибирь – Тихий океан» в Ленском бассейне (которых только в 2007 г. требуется доставить около 500 тыс. т) необходимо максимально исключить их потери, подобные допущенным в Западной Сибири. Для этого целесообразно, на наш взгляд, организовать передвижные комплексы в составе плавучих кранов и стоечных барж, выполняющих функции временных оперативных складских площадок. Выгрузку дорогостоящих современных труб с транспортных судов следует производить вначале на эти временные стоечные баржи площадки, а дальнейшую их передачу на берег до трассы трубопровода осуществлять с помощью автотракторной техники.

Такие комплексы должны располагаться в наиболее удобных приречных пунктах по трассе трубопровода и постепенно по мере удовлетворения потребности для строительства ближайшего участка трубопровода перебазироваться в следующие пункты. В настоящее время формулируется математическая постановка задачи, в процессе решения которой будут определены оптимальное количество таких комплексов и этапы их перемещения по базовым пунктам в течение навигации в увязке с работой транспортного флота и требованиями строителей.

Вопросы наиболее эффективного и рационального обеспечения завоза самим речным транспортом грузов для строящейся трубопроводной системы имеют и другой важный аспект.

За период проведения экономических реформ в России произошли существенные изменения в ценах на основные ресурсы, используемые речным транспортом. При этом наиболее значительное удорожание имеется по топливу и смазке (более чем в 300 раз), в то время как оплата труда повысилась только в 20-25 раз.

Вследствие этого мощность главных двигателей судовых силовых установок речных судов, а также скорость грузовых теплоходов и составов уже нельзя считать экономически обоснованными.

Известно, что между скоростью движения речных судов и их мощностью существует функциональная кубическая зависимость, т.е. мощность главных двигателей, а, следовательно, и расход топлива, в соответствии с адмиралтейским коэффициентом при возрастании скорости увеличивается в третьей степени [2], то есть

$$N_{\text{эд}} = f(v^3). \quad (1)$$

С учетом этой зависимости, поскольку заменить главные двигатели на всех судах сразу невозможно, возникает идея с целью экономии топлива ограничить использование мощности. При этом несколько уменьшится скорость и провозная способность судов, но с учетом того, что у транспортных предприятий имеется избыток флота, ежегодно оставляемый на холодном отстое, эти последствия не будут иметь решающего значения, зато экономичность перевозок и востребованность плавсостава для работы повысятся.

Выбор лучшего варианта степени загрузки главных двигателей и скорости грузовых теплоходов (сухогрузных или наливных) можно произвести по минимуму следующего выражения, характеризующего удельную величину полных экономических издержек на перевозки грузов

$$Z_{\text{ткм}} = \frac{\mathcal{E}_c + B_c + E \times K_c}{Q_p \times \rho_c \times U_p \times \tau_{\text{хе}}} \Rightarrow \min, \text{ руб./ткм}, \quad (2)$$

где $Z_{\text{ткм}}$ – удельная величина полных экономических издержек на перевозки грузов, руб./ткм;

\mathcal{E}_c – суточные расходы на содержание судна по всем статьям кроме топлива и смазки, руб./(судо-сутки);

B_c – суточные расходы по судну на топливо и смазку, руб./(судо-сутки);

E – норма дисконта, принимаемая на уровне ставки рефинансирования Центрального банка РФ, $E = 0,11$;

K_c – суточный показатель балансовой стоимости судна, руб./(судо-сутки);

Q_p – регистровая грузоподъемность судна, т;

ρ_c – средний показатель использования судна по нагрузке;

$\tau_{\text{хе}}$ – доля использования времени на ход с грузом: в Ленском бассейне для танкеров $\tau_{\text{хе}} = 0,40$; для сухогрузов – 0,50;

U_p – средняя техническая скорость судна с грузом, при заданной мощности, определяемая по формуле (3)

$$U_p = 24 \times v_p \times k_v, \text{ км/сутки}, \quad (3)$$

где v_p – расчетная скорость судна при заданном использовании мощности главных двигателей, км/сутки;

k_v – коэффициент, учитывающий снижение расчетной скорости из-за ветра, волнения, извилистости и др. причин: для свободной реки $k_v = 0,92$; для водохранилищ и устьевых участков - $k_v = 0,85$.

Значение расчетной скорости по вариантам использования мощности главных двигателей определяется по формуле (4)

$$V_p = \frac{V_{\text{э}}}{\sqrt[3]{\frac{N_{\text{эд}}}{N_p}}}, \text{ км/ч}, \quad (4)$$

где $V_{\text{э}}$ – паспортная скорость судна с грузом на глубокой и спокойной воде, км/ч;

$N_{\text{эд}}$ – паспортная мощность главных двигателей судна, кВт;

N_p – расчетная используемая мощность главных двигателей судна, кВт.

Значения показателей \mathcal{E}_c и K_c определяются по действующим методикам или по отчетным данным транспортного предприятия. При этом распределяемые расходы, как нерелевантные, могут не учитываться.

Суточные расходы на топливо и смазку следует определять по формуле (5)

$$B_{\text{сум}} = 10^{-6} \times 24 \times N_p \times (g_e \times k_m \times C_m + g_m \times C_m), \text{ руб./сутки}, \quad (5)$$

где g_e, g_m – технические удельные нормы расхода топлива и смазки для главных двигателей рассматриваемого судна при номинальном режиме использования, г/(кВт·ч);

k_m – коэффициент увеличения удельного расхода топлива при недоиспользовании номинальной мощности;

C_m, C_m – цена используемого топлива и смазки, руб./т.

Расчет показателей для выбора рациональной топливосберегающей скорости грузовых теплоходов и составов целесообразно выполнять предварительно в специальной таблице по прилагаемой форме и использовать в техническом нормировании работы флота. Общая величина возможной экономии издержек от реализации предлагаемого мероприятия определится по формуле (6)

$$\Delta Z_{\text{год}} = (Z_{\text{ткм}}^{\text{НОМИН}} - Z_{\text{ткм}}^{\text{МИН}}) \times GI_e, \text{ тыс. руб.}, \quad (6)$$

где $Z_{\text{ткм}}$ – удельная величина полных экономических издержек на перевозке грузов при номинальном и наиболее рациональном использовании мощности главных двигателей, руб./ткм;

GI_e – навигационный грузооборот по перевозкам в рассматриваемых типах судов, тыс. ткм.

Количество человек плавсостава, дополнительно привлекаемого к перевозкам грузов ориентировочно составит

$$\Delta n = \left(\frac{GI_e}{Q_p p_c U_p t_3 \tau_{хэ}} - \frac{GI_e}{Q_p p_c U_e t_3 \tau_{хэ}} \right) n_3, \text{ тыс. человек}, \quad (7)$$

где U_p – средняя техническая скорость судна с грузом при номинальной паспортной мощности главных двигателей (определяется также по формуле (3), но в качестве скорости принимается паспортная скорость судна с грузом), км/сутки;

n_3 – штат команды рассматриваемого типа судна, человек;

t_3 – средняя продолжительность эксплуатационного периода за навигацию для рассматриваемого типа судна, сутки.

Результаты расчетов рациональной топливосберегающей скорости для основного типа грузовых судов Ленского бассейна – составного теплохода типа СК-2000 представлены в таблице 1, из которых видно, что в современных условиях для этого теплохода экономически обоснованной следует считать мощность главных двигателей не 830 кВт (1100 л.с.), а только 450-500 кВт (то есть 600-660 л.с.); при этом его паспортная скорость с грузом на глубокой и спокойной воде уменьшится до 15,6-16,0 км/ч.

Еще более значительная экономия топлива может быть обеспечена при перевозках грузов в составах из толкаемых несамоходных судов, однако в Ленском бассейне такие перевозки из-за сложных путевых условий развиты слабо, а поэтому такая рекомендация для него не актуальна.

По поводу рекомендуемой топливосберегающей скорости судов обычно возникают два сомнения:

1) насколько можно считать обоснованным значение коэффициента увеличения удельного расхода топлива при недоиспользовании мощности;

2) является ли экономически оправданным возникающее при этом некоторое снижение провозной способности флота, а следовательно, – и снижение производительности труда плавсостава?

На эти сомнения и возражения, на наш взгляд, есть следующие ответы.

Использованные в расчетах приведенной таблицы значения коэффициента увеличения удельного расхода топлива основаны на экспериментальных данных, полученных наиболее авторитетными специалистами – дизелистами речного флота [1, 4], но даже если эти значения будут несколько большими, принципиальный вывод от этого практически не меняется: уточнится только значение рациональной степени использования мощности, например, с

**УРОКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА В РЕШЕНИИ КРУПНЫХ
ПРОБЛЕМ ХОЗЯЙСТВЕННОГО ОСВОЕНИЯ СИБИРИ**

0,55-0,60 до 0,70-0,75 – настолько разительна неоднородность фактической инфляции за последние 15 лет. На основе этой таблицы сделан график обоснования топливосберегающей скорости.

Таблица 1 – Обоснование рациональной топливосберегающей скорости для грузового теплохода СК-2000 в Ленском бассейне

Показатель	Значение показателя по вариантам использования мощности главных двигателей						
	1	2	3	4	5	6	7
Степень использования мощности	1,00	0,90	0,80	0,70	0,60	0,55	0,50
Используемая расчетная мощность главных двигателей, кВт	830	747	664	581	498	456	415
Расчетная скорость судна с грузом на глубокой и спокойной воде, км/ч	19,00	18,36	17,64	16,89	16,02	15,60	15,07
Прямые расходы на содержание судна без топлива, тыс. руб./сутки	42,4	42,4	42,4	42,4	42,4	42,4	42,4
Коэффициент увеличения удельного расхода топлива при недоиспользовании мощности главных двигателей	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06
Расходы на топливо при движении судна, тыс. руб./сутки	85,0	77,7	70,3	62,6	54,9	50,7	47,3
Итого прямых расходов, тыс. руб./сутки	127,4	120,1	112,7	105,0	97,3	93,1	89,7
Упущенная выгода «opportunity costs» по балансовой стоимости при $E = 0,105$, тыс. руб./сутки	41,0	41,0	41,0	41,0	41,0	41,0	41,0
Всего полных издержек, тыс. руб./сутки	168,4	161,1	153,7	146,0	138,3	134,1	130,7
Суточная провозная способность, тыс. ткм	334,4	322,4	310,4	298,0	282,4	275,2	264,8
Себестоимость перевозок, коп./ткм	38,10	37,25	36,29	35,24	34,43	33,81	33,87
Удельная величина полных экономических издержек, коп./ткм	50,36	49,97	49,50	49,00	48,96	48,72	49,35

Что касается второго возражения, то это – вопрос правомерности и экономической обоснованности до сих пор используемых в отечественной практике речного транспорта методов исчисления такого важнейшего показателя, как производительность труда. Правильно ли считать ее по величине доходов, то есть валового общественного продукта (ВОП) в расчете на одного работника, как это принято пока в нашей отраслевой статистике?

Для измерения производительности труда показатель валового общественного продукта (а для конкретного предприятия – валового дохода) весьма несовершенен, включает в себя материальные затраты, содержащие искажающую опасность повторного счета, и не отражает действительного экономического результата в виде вновь созданной ценности, т.е. национального дохода, как истинного богатства страны. В современной рыночной экономике показатель ВОП в соответствии с рекомендациями ООН утратил свое значение [3].

Из экономической теории известно, что именно национальный доход, как вновь созданная ценность (или ценность добавленной обработки – value-added) является наиболее значимым для страны показателем, а одним из факторов его роста выступает экономия материальных затрат. Опыт японской модели рыночного хозяйствования, ориентированной на этот показатель, наглядно демонстрирует всему миру обоснованность такого подхода [3, 5].

Именно эта особенность и закономерность проявляются в рассматриваемой ситуации. При конкретном фиксированном грузопотоке общая величина валового дохода (т.е. состав-

ной части валового общественного продукта, по которому пока оценивается отчетная производительность труда) независимо от скорости движения и количества применяемых судов останется без изменения. Однако в первом случае с номинальной (повышенной) используемой мощностью и скоростью судов большая часть заработанных фирмой доходов от перевозок (до 63%) пойдет на компенсацию сожженного топлива, и лишь около одной трети – на оплату труда и прибыль, а во втором (предлагаемом варианте) – как раз наоборот: значительная часть (до 40%) топлива будет сэкономлена и останется для других хозяйственных потребностей, а настоящее богатство транспортного предприятия, соответствующее национальному доходу в виде прибыли и заработной платы работников, возрастает почти вдвое, что реально и объективно отразит действительное повышение производительности труда.

Одновременно с этим решается и крупная социальная задача – обеспечение занятости и сохранности наиболее квалифицированных работников плавсостава, которые смогут получать достойную заработную плату, а не унизительное пособие по безработице.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Гогин, А.Ф.** Судовые дизели (основы теории, устройство и эксплуатация) [Текст]: / Гогин А.Ф., Кивалкин Е.Ф., Богданов А.А. // Изд. 4-е, перераб. и доп. -М.: Транспорт, 1988.
- 2 **Лесков, В.А.** Теория и устройство судов внутреннего плавания [Текст]: Учебн. для вузов водн. трансп. – 4-е изд., перераб. и доп. / В.А. Лесков // -М.: Транспорт, 1982.
- 3 **Румянцева, Е.Е.** Новая экономическая энциклопедия [Текст]: 2-е изд. / Е.Е. Румянцева // -М.: ИНФРА-М, 2006.
- 4 **Селиверстов, В.М.** Экономия топлива на речном флоте [Текст]: / В.М. Селиверстов, М.И. Браславский // -М.: Транспорт, 1983.
- 5 **Сио, К.К.** Управленческая экономика [Текст]: Пер. с англ. / К.К. Сио // -М.: ИНФРА-М, 2000.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

УДК 656.62.003.13:658.152

ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАПИТАЛОВЛОЖЕНИЙ НА РЕЧНОМ ТРАНСПОРТЕ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Д.Ю. Сахнов

Оценка эффективности внедрения новой техники - необходимая процедура для принятия решения об инвестициях, позволяющая сделать выбор из нескольких вариантов и оценить целесообразность дальнейшей работы над проектом.

Научное обсуждение принципов выбора вариантов вложения средств началось, с 1928 г., с момента опубликования статьи Л.П. Юшкова «Основной вопрос плановой методологии», где впервые была сформулирована задача сравнительной эффективности и отмечена необходимость разработки таких показателей, сравнение которых с единой для всего народного хозяйства директивной нормой позволило бы выбирать лучший вариант вложения средств. Выдвинув ряд важнейших принципов сравнительного анализа, Л.П. Юшков, к сожалению, не смог предложить теоретически обоснованный метод оценки эффективности

вариантов инвестирования.

Несмотря на значимость вопросов анализа реальных инвестиций, рассматриваемых отечественной экономической наукой, следует отметить, что научные труды, посвященные изложению принципов и методов сравнения, были немногочисленны, а местом публикации большинства из них явились узкоспециализированные издания, вследствие чего эти работы оставались недостаточно известными широкому кругу экономистов. В массовых же изданиях предлагаемые методы подвергались критике, поводом для которой было формальное сходство показателей сравнительной эффективности с категориями капиталистической экономики. Но даже среди сторонников рассматриваемых методов оценки сравнительной эффективности не всегда имеет место единство взглядов по поводу рассматриваемых методов. В частности, методы сравнительной оценки нередко сопоставляли и сопоставляют до сих пор с оценкой по максимуму рентабельности или по минимуму срока окупаемости всех капиталовложений за счет прибыли.

Период широкого обсуждения проблем эффективности реальных долгосрочных вложений в социалистическом хозяйстве начинается с середины 50-х годов прошлого века. С 1956-го года, методы определения экономической эффективности капитальных вложений в СССР строго регламентировались соответствующими типовыми методиками, утвержденными авторитетными учреждениями и ведомствами. Раз в несколько лет появлялись новые версии методик, дополняющие основополагающие. Именно в этих методиках нашли отражение некоторые принципы и методические приемы определения сравнительной эффективности, разработанные в 30-40-х годах XX-го века.

Анализ показал, что на первых этапах регламентирования методов оценки сравнительной эффективности («Временная типовая методика определения эффективности внедрения новой техники», 1956 г.) господствовало неверное толкование критерия срока окупаемости дополнительных капиталовложений при выборе варианта долгосрочного инвестирования, что и исправила типовая методика 1960-го года [1]. Следует отметить, что идейная основа данной методики была заложена на съезде по проблемам экономической эффективности (1958 г.). Типовая методика повысила и закрепила статус сравнительной оценки вариантов вложений средств в форме показателя минимума приведенных затрат и предусматривала учет фактора времени как по формуле простых процентов, так и по формуле сложных процентов, не допуская при этом процентирования на текущие издержки.

В дальнейшем «Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений и новой техники в народном хозяйстве СССР» (М., 1960) и, разработанная на ее основе «Методика определения экономической эффективности капитальных вложений на речном транспорте» (М., 1967) незначительно изменялись в новых ее вариантах (за исключением методики 1988 г.).

В типовой методике 1969 г. появляется абсолютная оценка эффективности реальных инвестиций (соотношение прибыли и суммы капиталовложений), где рекомендуется учитывать фактор времени с использованием сложных процентов и в отношении текущих расходов. Однако, указанная форма критерия затрат с учетом фактора времени вызвала споры в научных кругах.

В 1980г. утверждено третье издания типовой методики, в котором уделяется внимание непроизводственной сфере (эффективность социально-экономических затрат), охране окружающей среды, сфере обращения (издержки потребителя и другие качественные показатели, в ряде случаев, которым, отдается предпочтение перед другими показателями), эффективности НИР и проектных работ. Во многом данному шагу способствовало расширение понятия «эффективность» в отечественной экономической науке (70-80годы прошлого века). В этот период активно продвигается идея приоритета «социальной эффективности», которая, однако, не сразу была принята. Считалось, что социальные эффекты не могут быть критериальными, поскольку они не поддаются измерению и соизмерению, сводили социальную эффективность к сопутствующим экономическим результатам. Следует отметить, что в методике эффективности научных работ вводится новое понятие «потенциал эффективности», который, будучи реализован в производстве, при известных условиях, вероятно, трансформируется в реальную эффективность. Впоследствии было введено понятие риска

с учетом возможной неудачи исследовательских и конструкторских работ. В этом случае приведенные затраты приобретают форму математического ожидания.

Методика 1988 г. [2] – основана на применении дисконтирования, чем и отличается от предыдущих методических разработок. Появляется критерий интегрального эффекта (суммарного экономического эффекта за расчетный период), коэффициент эффективности единовременных затрат (по сути, внутренняя норма доходности), срок возврата единовременных затрат.

Типовые методики служили основой для разработок отраслевых методик и инструкций на речном транспорте: «Методика определения экономической эффективности капитальных вложений на речном транспорте» (М., 1967); «Инструкция по определению экономической эффективности капитальных вложений на речном транспорте» (М., 1974); «Отраслевая методика определения экономической эффективности использования новой техники, изобретений, рационализаторских предложений на предприятиях речного транспорта» (М., 1979); «Методика определения экономической эффективности гражданских судов» (Л., 1979); «Методические указания по определению экономической эффективности внедрения новой техники на речных перевозках» (Л., 1983); «Методические указания по определению экономической эффективности внедрения новой техники в портовом хозяйстве» (Л., 1983); «Методические указания по определению экономической эффективности внедрения новой техники на промышленных предприятиях» (Л., 1984); «Отраслевая методика определения экономической эффективности новой техники, изобретений, рационализаторских предложений на предприятиях речного транспорта» (Л., 1988) и др.

На речном транспорте проблемам эффективности капитальных вложений уделяли внимание в 50-60-х годах прошлого столетия доктор экономических наук А.А. Митаишвили, профессор Ш.П. Бланк, Л.Е. Добровольский, С.П. Арсеньев, работавшие над созданием Методики 1967-го года. Позднее отмеченные проблемы в различных аспектах рассматривались В.Н. Лившицем, Р.И. Нудельманом, В.А. Легостаевым, Г.С. Быковым, Е.М. Маничевой, Н.Н. Путиловой, В.М. Бунеевым, В.П. Зачесовым, И.А. Рагулиным и др.

Все выше изложенные методы нашли широкое практическое применение. Однако «практическое» применение вовсе не означает прямого следования теории. Так, снижение срока окупаемости или максимизация коэффициента сравнительной эффективности практиковались как самоцель хозяйствования. Это явилось следствием того, что в Типовых методиках, в разъяснениях, в комментариях отсутствовали четко определенные исходные теоретические положения, не объяснялось экономическое содержание рекомендуемых показателей (в частности, смысла коэффициента сравнительной эффективности, срока окупаемости дополнительных капиталовложений, нормативного коэффициента сравнительной эффективности дополнительных капитальных вложений).

В современных рыночных условиях сегмент использования ранее применяемых методов сравнительной оценки эффективности долгосрочных вложений достаточно узок. Сегодня субъектам хозяйствования самим приходится решать задачи не только сравнительной, но и абсолютной эффективности капиталовложений, причем, в условиях изменчивой рыночной конъюнктуры.

Процесс становления инвестиционного рынка в России вызвал необходимость адаптации принятой международной практики расчета и обоснования целесообразности и эффективности инноваций на основе ДДП. Одним из наиболее известных в 80-е годы в России стандартных инструментов анализа капиталовложений оказалась методика «ЮНИДО», описанная в «Руководстве по оценке эффективности инвестиций», опубликованном в 1978 г.

Именно на ее основе были разработаны «Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиций и отбору их для финансирования» (М., 1994) и «Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов» 1999-го года [3].

Официальность этих рекомендаций обусловлена обязательностью учета при оценке эффективности инвестиционных проектов требований коммерческой эффективности, природопользования и охраны окружающей среды, социальных последствий. В разработке этих рекомендаций нашли отражение исследования А.Б. Залесского, В.Н. Лившица, Д.С. Львова, П.Л. Виленского, С.А. Смоляка и др., реализован бюджетный подход к анализу проектов.

Преимуществом данных рекомендаций является адаптированность к российским условиям, соблюдение принципов оценки, сложившихся в мировой практике. Однако, необходимо отметить недостаточность исследований в области эффективности внедрения новой техники в том числе и на речном транспорте.

Разработка методических рекомендаций – большой шаг на пути к интеграции в общемировые стандарты, хотя очевидно, что нельзя учесть все отраслевые особенности в единых методических рекомендациях, что подтверждает необходимость дополнительной разработки отраслевых аспектов анализа эффективности, методических основ оценки вложения средств в новую технику в отраслевом разрезе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений и новой техники в народном хозяйстве СССР [Текст]: / -М.: Госпланиздат, 1960.

2 Отраслевая методика определения экономической эффективности новой техники, изобретений, рационализаторских предложений на предприятиях речного транспорта [Текст]: / Под ред. В.А. Легостаева // -Л.: Транспорт, 1988. -128 с.

3 Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция) [Текст]: Официальное издание / -М.: Экономика. -422 с. Утверждено Мин. Экономики РФ, Госкомитетом РФ по строительству, архитектурной и жилищной политике ВК477 от 21.06.99 г.

ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 627.23.004.58

ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ НОВОСИБИРСКОГО ШЛЮЗА НОВОСИБИРСКОГО РАЙОНА ВОДНЫХ ПУТЕЙ, ГИДРОСООРУЖЕНИЙ И СУДОХОДСТВА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Ю.И. Бик, О.В. Приданова

Приведены критерии безопасности, по которым определялся уровень безопасности Новосибирского шлюза.

В настоящее время остро встает проблема сохранности существующих гидротехнических сооружений и повышения уровня их технической и экологической безопасности. Причем, если уровень технической эксплуатации возможно «подтянуть» к растущим требованиям государственных надзирающих органов без осуществления дорогостоящего комплекса организационно – технических мероприятий, то проведение работ по усилению и реконструкции гидротехнических сооружений требует принятия кардинальных и, соответственно, дорогостоящих мероприятий. Следует отметить запущенность важнейшего направления технической эксплуатации существующих гидротехнических сооружений – исследования несущей способности, проектирования и осуществления ремонтно-восстановительных работ. Сегодня ремонт и реконструкция производятся бессистемно, так как отсутствуют единый научно-обоснованный подход и нормативная база для решения этих направлений.

В 2004 году создана Федеральная служба по надзору в сфере транспорта, в рамках ко-

торой созданы территориальные Управления надзора на внутренних водных путях, что увеличивает возможности государственного надзора за безопасностью гидротехнических сооружений транспортного комплекса России.

Государственный надзор базируется на положениях Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений» [1] и его подзаконных актах. Основным документом, в котором обосновывается безопасность гидротехнического сооружения, и определяются меры по обеспечению безопасности гидротехнического сооружения, является декларация безопасности. Декларирование безопасности судоходных гидротехнических сооружений осуществляется в соответствии с Перечнем судоходных гидротехнических сооружений, подлежащих декларированию в 2005-2010 годах согласованным с МЧС России.

В рамках научно-исследовательской работы сотрудниками Экспертного центра безопасности и надежности сооружений было выполнено обследование технического состояния конструкций Новосибирского судоходного шлюза Новосибирского РВПГиС, на основании которого были определены показатели безопасности для гидротехнической, механической и электрической частей шлюза [2]. Целью обследования являлось определение современного состояния конструкций и их элементов с составлением ведомости дефектов, условиями эксплуатации, расчетов конструкций с учетом локальных повреждений. В результате обследования состояние некоторых конструкций было признано неудовлетворительным. Полученные сведения и архивные материалы позволили установить причину ухудшения состояния конструкций шлюза и разработать рекомендации по ремонту и восстановлению их несущей способности.

Анализ полученных показателей действительного состояния конструкций шлюза на момент обследования позволил назначить критерии безопасности для возможных сценариев аварии на гидротехническом сооружении. Под аварией понимается как прорыв напорного фронта гидроузла (гидродинамическая авария), так и невозможность выполнения сооружением своей основной функциональной задачи (например, осуществлять шлюзование на срок более 72 ч) при наличии аварийного запаса материалов и оборудования согласно утвержденного перечня.

Для каждого возможного сценария аварии на гидротехническом сооружении даются критерии состояния сооружения, которые позволяют отследить развитие событий по конкретному сценарию аварии. Критерии состояния сооружения представлены в виде трех границ, переход через которые показывает изменение состояния сооружения. Возможные сценарии аварий и допустимые значения показателей конструкций шлюза сведены в таблицу 1 по гидротехнической, механической и электрической частям шлюза, а также приведена готовность к предупреждению и ликвидации ЧС, в которой показано наличие неснижаемого запаса материалов, механизмов, оборудования, комплектующих изделий и запасных частей для аварийного ремонта в соответствии с действующими нормами и состоянием системы связи.

Таблица 1 – Сценарии аварий и допустимые значения показателей конструкций шлюза

№№ п/п	Наименование показателей безопасности	Критерии безопасности			Возможный сценарий аварии при превышении критического значения критерия
		Предельно допустимое значение (ПДЗ)	Ограниченно допустимое значение (ОДЗ)	Критическое значение (КЗ)	
1	2	3	4	5	6

После строительства гидротехническое сооружение находится в нормальном, работоспособном состоянии, если его показатели соответствуют всем проектным требованиям и СНиПам.

Появление признаков, приведенных в колонке 3 (предельно допустимое значение – ПДЗ), показывает, что по данному фактору появились деструктивные процессы, и сооруже-

ния не в полной мере соответствует требованиям проекта и СНиПов. При этом сооружение находится в ограниченно работоспособном состоянии, однако уровень безопасности в данном случае следует рассматривать как пониженный.

Появление признаков, приведенных в колонке 4 (ограниченно допустимое значение – ОДЗ), показывает, что по данному фактору деструктивные процессы имеют значительное развитие. Состояние сооружения следует оценивать как предаварийное, а уровень безопасности как неудовлетворительный.

Появление признаков, приведенных в колонке 5 (критическое значение – КЗ), показывает, что по данному фактору деструктивные процессы привели к такому состоянию, когда не принятие срочных мер неизбежно приведет к аварии на сооружении. Такое состояние сооружения оценивается как аварийное, а уровень безопасности как опасный.

Разработанные критерии безопасности Новосибирского судоходного шлюза Новосибирского РВПГис, были рассмотрены в Федеральном агентстве речного и морского транспорта и утверждены Федеральной службой по надзору в сфере транспорта до 2011 года.

По данным выполненных исследований было установлено, что Новосибирский судоходный шлюз в целом находится в ограниченно работоспособном состоянии.

В настоящее время проводятся работы по проектированию, усилению и ремонту отдельных строительных конструкций, механического и электрического оборудования.

Перед руководством г. Новосибирска и Федеральным агентством речного и морского транспорта поставлен вопрос о необходимости приобретения неснижаемого запаса материалов, механизмов, оборудования, комплектующих изделий и запасных частей для аварийного ремонта в соответствии с действующими нормами в случае чрезвычайной ситуации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Закон о безопасности гидротехнических сооружений №117 ФЗ от 21.07.1997 г.**

2 **Преддекларационное обследование конструкций Новосибирского шлюза [Текст]:** Отчет по научно-исследовательской работе / -Новосибирск: НГАВТ, 2006. -95 с.

ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 627.23.004.58

ПЕРСПЕКТИВЫ РОСТА ПЕРЕВАЛКИ ГРУЗОВ В ПОРТАХ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

П.С. Чернышов

Рассмотрены варианты берегоукрепления существующих причальных набережных, в результате чего, возникает возможность увеличения эксплуатационных нагрузок на причалы и, следовательно, рост объема перевалки грузов в портах.

Прогнозируемое увеличение грузооборота на водном транспорте предъявляет повышенные требования к пропускной способности портов, увеличение которой можно осуществлять как путем строительства нового причального фронта, так и в результате более интенсивной и рациональной эксплуатации существующих причалов.

С удовлетворением можно отметить, что строится новый порт «Усть-Луга», где в 2005 г. запущен в работу «ростерминал уголь», инвестиции в строительство этого терминала составили 450 млн. руб., к 2009 году пропускная способность терминала составит 8 миллионов тонн угля в год. В начале этого года в Усть-Луге открыта международная железнодорожно-

паромная линия до Германии.

В мае 2007 года на морской коллегии в Мурманске Владимир Якунин сообщил, что ОАО РЖД планирует вложить 672 млрд. руб. на развитие железнодорожных подъездных путей, подходов к портам, что позволит увеличить перевалки в портах в 2 раза.

ОАО РЖД покупает акции портов, сегодня они имеют 8,5% акций порта Усть-Луга, 20% акций порта Новороссийск, ведутся переговоры покупки акций портов Владивосток и Находка – это говорит о заинтересованности развития портов не только портовиков, но и других ведомств – как акционеров.

На морской коллегии в Мурманске первый вице – премьер Сергей Иванов объявил, что планируется строительство нового порта в Тамани. А министр И. Левитин сообщил, что к 2014 году полностью завершится реконструкция автодороги «Дон» до границы Краснодарского края, что даст новый толчок развитию порта «Новороссийск».

На недавней встрече президента В. Путина и губернатора Кемеровской области, А. Тулеев сообщил, что «Сибирский деловой союз» и «Кузбассразрезуголь» планируют строить угольный терминал в Кольском заливе, так же они вложили средства в строительство угольного терминала «Суходол» вблизи порта Находка, в строительство угольных терминалов в портах Мурманске и Ванино. Чтобы гармонично развивать промышленность, необходим и новый отечественный флот – на коллегии в Мурманске губернатор Приморского края С. Дарькин обратился с предложением передать 50% перевозок российских грузов своим, российским судам, а возможно ли это при современном количестве российского тоннажа.

Наконец-то в марте 2007 года спущен на воду ледокол «50 лет победы» – к 62 годовщине победы, этим Россия заявила, что застой в строительстве отечественного флота преодолен. К этому необходимо отметить, что 22 марта президент В. Путин подписал указ о создании ОАО «Объединенная судостроительная корпорация» в составе: ОАО «Западный центр судостроения» в Санкт-Петербурге, ОАО «Северный центр судостроения» в Северодвинске, ОАО «Дальневосточный центр судостроения» во Владивостоке, с принадлежностью 100% акций федеральной собственности – государство наконец-то прониклось необходимостью развития строительства отечественного флота. Как отмечалось выше, в строительство морских портов вкладывают средства коммерческие структуры.

А какое положение дел в речных портах – известно, что новые собственники порта «Пермь»-«Северосталь» переносят порт ниже по реке, то есть строят новый порт.

Существующие причальные набережные приходят в аварийное состояние, необходимо срочно вкладывать средства в их ремонт.

Рост перевозок связан с необходимостью увеличения загрузки прикордонных складских площадей и установкой на причалах более мощной перегрузочной техники, что в свою очередь приводит к существенному росту нагрузок на причальные стенки.

Это обстоятельство требует изыскания дополнительных резервов несущей способности набережных, надежных способов их укрепления. Применения новых материалов и конструкций для берегоукрепительных работ.

Исследования ветровых волн в сочетании с течениями реки, и увеличением скорости течения при работе движителей теплоходов, ведутся с целью разработки наиболее совершенных и дешевых конструкций крепления различных участков разрушаемых берегов и причальных набережных. Каменная наброска, полимерные материалы, металлическая сетка - наполняемая камнями, соединяемые бетонные блоки, нейлоновые мешки с песком и гравием, тетраподы – далеко не весь перечень известных сегодня укреплений набережных.

Наиболее эффективная конструкция крепления оказалась каменная наброска, 80% которой состоит из камней весом 550-800 кг, уложенных слоем толщиной 1,2 м на слой более мелкого камня весом 55-80 кг, толщиной 0,3 м с заполнением пространства между крупными камнями щебнем и мелкими камнями.

Очень эффективное крепление набережных оказалось армирование грунтов, которое первым предложил инженер Х. Видаль. Для армирования грунтов могут служить ленты, решетки или полотнища из любого, лучше всего не подвергающегося коррозии материала, обладающего высокой прочностью на растяжение. Может быть использован также материал, подвергающийся коррозии, но в этом случае он должен иметь в несколько раз большие раз-

меры по толщине или соответствующее антикоррозийное покрытие, чтобы арматура могла сыграть свою роль в течение всего периода эксплуатации данного гидротехнического сооружения. Эти элементы укладываются горизонтально один над другим, отделяя слои грунта соответствующей толщины. К весьма интересным примерам применения армированного грунта, проекты которых разработал и исследовал на моделях инженер Видаль, относятся портовые набережные. Первый из них глубиной 4 м выполнен в порту Гранде-Мотте на Средиземном море, другой глубиной 15 м – в порту Лахина на реке Святого Лаврентия в Канаде. Существенным элементом такой набережной является облицовка – называемая Видалом – «кожа», составленная из металлических желобов, повернутых эллиптической, выпуклой поверхностью к воде. Облицовку можно спроектировать в виде сборной конструкции, когда отдельные желоба перед установкой свариваются между собой с образованием плит, например для набережной Гранде-Мотте 4×10 м и весом 500 кг. К щекам желобов привариваются анкерные крепления в виде металлических полос с размерами, например 200×30 мм и длиной, чаще всего равной высоте набережной, составляющих арматуру обратной засыпки. На выполненной таким образом набережной проектируется обычно бетонная верхняя обвязка или железобетонная сборная, уголкового надводная стенка.

В справочнике НПРМ (нормативные показатели расхода материалов) сборник №42 «Берегоукрепительные работы», разработанном инженерами В.А. Моисеевым, В.И. Степановым, на крепление откосов, дна каналов предусматривается применение материалов:

- грунтов взорванной скальной породы;
- естественной песчаной, гравийной смеси;
- бетонных и железобетонных плит и конструкций;
- монолитный бетон и железобетон;
- покрытие поверхности бетона лаком или битумной грунтовкой,

никаких новых технологий и материалов справочник не предусматривает. Но еще в 1974 году в журнале «Гидроэнергетика» №29 сообщалось, что в Германии на основании результатов модельных исследований получен новый состав асфальтовой мастики, которая используется при устройстве креплений откосов, подверженных сильному волновому воздействию. Сетки с камнем укладываются на спланированный песчаный откос с уклоном 1:2,5. Установка сетчатых ящиков производится специальным краном. Швы между смежными ящиками заливают специальной асфальтовой мастикой. Освещается опыт крепления песчаного откоса на острове Хиддензе. Рассматриваются примеры использования за рубежом полимерных материалов (в виде тканей, пленок и т.д.) при проведении берегоукрепительных работ. Описывается конструкция крепления берегов рек и откосов земляных гидротехнических сооружений, включающая отдельно расположенные блоки из эластичных материалов.

Используя все новые технологии укрепления существующих причальных набережных, позволит эксплуатировать их более эффективно, что сегодня актуально.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 НПРМ. Сборник 42 «Берегоукрепительные работы» Госстрой России. Москва.
- 2 Армированные грунты – новая технология строительства подпорных стен и набережных [Текст]: / С. Хюккель / -Новосибирск, 1974. -12 с.
- 3 Защита речных и морских гидротехнических сооружений от волновых воздействий [Текст]: / И.А. Сыпченко // -Л., 1976. -58 с.
- 4 Периодическая печать, материалы Морской Коллегии апрель 2007 года.

УДК 627.23.004.58

ЗАЩИТА ДНА ПЕРЕД НАБЕРЕЖНОЙ ОТ РАЗМЫВА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

П.С. Чернышов

Приведены примеры возникновения повреждений набережных вследствие нарушения правил подхода судов к причальным стенкам.

В национальных нормативных документах, регламентирующих работу теплоходов в порту, при швартовке к причальной набережной запрещается работать винтами вблизи набережной.

В «Общих правилах плавания и стоянки судов в морских портах Российской Федерации и на подходах к ним» утвержденных совместным решением Департамента морского транспорта Министерства транспорта Российской Федерации и Комитета Российской Федерации по рыболовству, издательства ЗАО ЦНИИМФ 2003 года, пункт 5.1.1. «Судну запрещается работать винтами у причала порта».

Постановления капитана порта «Восточный» утвержденные начальником морской администрации порта в сентябре 2002 года, пункт 4.4.2. «Работа винтами у причала, кроме кратковременного проворачивания главных двигателей и в целях обеспечения безопасности судна, запрещается».

Постановления капитана порта «Находка» утвержденные начальником морской администрации порта в декабре 2001 года, пункт 4.3.3. «Работа главными двигателями и подруливающими устройствами на расстоянии 10 метров от причала, запрещается».

С какой целью внесены такие пункты в правила плавания? Сохранности существующих причальных набережных или с целью зарабатывания денег портом за счет использования буксиров, принадлежащих порту. Например, работа одного буксира в порту «Восточный» швартуящего грузовой теплоход к причалу оценивается в 36 тыс. руб. Грузовому теплоходу работать винтами у причала запрещено постановлением капитана порта – обязательное использование буксира и лоцмана.

Попробуем всесторонне изучить эту проблему. Судовладельцы не хотят терять деньги и готовы нанять опытного капитана, который без буксиров пришвартует теплоход к причальной набережной, и этим сэкономит компании 36 тыс. руб.

Выходит простое «нельзя» в этом случае не совсем корректно. Имеются как минимум две альтернативы:

- укрепить дно у причальной набережной на половину ширины судна каменной наброской, крупность камней можно рассчитать.
- ограничить диапазон частот вращения винтов, струи от которых размывают дно у причальной набережной, допустимые частоты вращения винтов можно рассчитать.

К вопросу защиты дна перед гидротехническим сооружением имеются соответствующие нормативные документы: «Проектирование причальных набережных» издания Гипроречтранс Москва, 1991 года. Пункт 1.3.98 «При нескальных грунтах основания следует, как правило, предусмотреть защиту дна перед набережной от размыва его течением и движителями судов на ширине не менее половины ширины расчетного судна...Желательно защитить от размыва призму выпора грунта перед набережной, определенную при расчете общей устойчивости».

Пункт 1.3.99. «... Для защиты дна применяют каменную наброску или тюфяки из железобетонных плит. Каменная наброска должна быть толщиной не менее 40 сантиметров и ук-

**ЗАЩИТА ДНА ПЕРЕД НАБЕРЕЖНОЙ
ОТ РАЗМЫВА**

ладываться на подготовку из разнозернистого камня или щебня. Толщину подготовки следует принимать не менее 30 сантиметров при отсыпке в воду и 20 сантиметров при отсыпке насухо...»

Следовательно, правилами проектирования предусмотрена защита дна перед набережной, и работа винтами не запрещена! Но вероятнее всего при производстве строительных работ была исключена каменная наброска в целях экономии или других причин.

Например, капитан порта «Троица» в бухте Зарубино, запрещая работу движителями теплохода при швартовке, мотивирует тем, что при строительстве причальной набережной шпунт «Ларсен-IV» не забит до проектной глубины и не сделана каменная наброска. Русская поговорка: «Скупой платит дважды» здесь к месту, сегодня на существующей причальной набережной порта «Троица» необходимо производить ремонтные работы для повышения надежности и срока службы сооружения.

Еще один пример: Уренгойский речной порт, расположен на левом берегу реки Пур. Запроектирован «Сибгипроречтрансом» (ОАО Сибречпроект) в виде одноанкерного больверка из стального шпунта «Ларсен-V» (сталь 16xГ) и (ВИ – 32). Заанкерено стальными тягами диаметром 95 мм за анкерные плиты Н – 3,0 м, длина анкерных тяг 21,2 м. Глубина погружения лицевого шпунта 7,05 м. Причальная набережная – вертикальный профиль длиной по линии кордона 620,8 м, с отметкой кордона 17,0 м, отметкой проектного дна 6,3 м. Навигационная глубина у причальной стенки 9,5 м - 99% обеспеченности. В основании причальной набережной залегают пески с углом внутреннего трения 30° и коэффициентом пористости 0,60-0,75. Обратная засыпка выполнена местным грунтом с углом внутреннего трения 30° и коэффициентом стандартного уплотнения 0,9.

Дно перед набережной крепится слоем камня крупностью 15-20 см толщиной слоя 30 см, по слою щебня крупностью 4-6 см и толщиной слоя 30 см.

Как показало обследование этой причальной набережной, отклонений от проекта при строительстве не обнаружено, в то же время обнаружены провалы территории в Прикордонной зоне.

Причальная набережная требует подкрепления, для повышения надежности и увеличения срока службы.

Вернемся к правилам проектирования причальных набережных: пункт 1.3.101 «При расположении набережной на подмываемом берегу реки необходимо составлять специальный проект защиты берега и дна перед причальным сооружением. При этом ширина зоны и материал крепления определяется на основании лабораторных исследований или приближенно, исходя из допускаемых не размывающих средних по глубине потока скоростей воды. Значения допускаемых скоростей воды приведены в таблице СНиП 2.06.03 – 85».

Так же имея, ниже перечисленные исходные данные:

N_0 – мощность главного двигателя, кВт;

η_e – коэффициент полезного действия валопровода ($\eta_e \approx 0,97$);

η_e – коэффициент полезного действия валопровода ($\eta_e \approx 0,95$);

ρ – плотность воды, кг/м³;

c – расстояние от оси гребного винта до основной плоскости судна, м;

$2l$ – расстояние между осями гребных винтов, м;

H_ϕ – глубина фарватера, м,

аппроксимация которых, позволяет получить следующие зависимости для минимальной крупности камня:

– для грузовых судов

$$q_{\min} = 0,20(nD)^{3,6} S^{-0,432} \frac{N_0 \eta_b \eta_r}{\rho n^3 D^5},$$

где n – расчетное значение частоты вращения винта, с⁻¹;

Эта зависимость позволяет решить и обратную задачу, т.е. определить безопасные максимальные обороты вала главного двигателя судна возле уже существующих причальных сооружений при известных значениях крупности каменной наброски

$$n_{\max} = \left(\frac{q_{\min}}{0,20D^{3,6}S^{-0,432} \frac{N_0 n_e \eta_e}{\rho n^3 D^5}} \right)^{1,667} i,$$

где n_{\max} – максимальная частота вращения вала главного двигателя судна, с^{-1} ;

i – передаточное отношение редуктора.

Результаты вычислений позволяют оценить воздействие струй от судовых движителей на крепление дна у причальных сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Общие правила плавания и стоянки судов в морских портах Российской Федерации и на подходах к ним [Текст]:** / -С-П.: ЗАО ЦНИИМФ, 2003. -48 с.
- 2 **Обязательные постановления по морскому торговому порту Восточный порт [Текст]:** / -Находка: Приско Принт, 2002. -83 с.
- 3 **Обязательные постановления по морскому торговому порту Находка [Текст]:** / -Находка: Приско Принт, 2002. -50 с.
- 4 **Проектирование причальных набережных [Текст]:** / -М.: Гипроречтранс, 1991. -94 с.

ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 532.5+621.4-752

ВЫБОР РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ, ОПТИМАЛЬНОЙ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИХ ОПОР НОВОГО ТИПА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Е.В. Фомичева

Выполнен анализ наиболее распространенных рабочих жидкостей для различных гидравлических систем на основе определения ширины резонансного пика колебаний в тех точках кривой динамических перемещений, в которых они составляют некоторую долю резонансных динамических перемещений с целью выбора наиболее оптимальной жидкости для гидравлической виброизолирующей опоры нового типа.

Работа любой гидравлической регулирующей системы происходит за счет внешнего источника питания. Таким источником обычно является масляный насос, поставляющий жидкость под давлением к регулятору. В источниках питания для гидравлических систем применяются чаще всего минеральные масла или специальные жидкости. В регуляторах, применявшихся до последнего времени, использовались почти исключительно минеральные масла, поскольку все эти регуляторы имели трущиеся части, нуждающиеся в смазке. Минеральное масло выполняло одновременно две функции: служило переносчиком энергии в гидравлических регуляторах и смазывало в них трущиеся части. Помимо того, минеральные масла не агрессивны по отношению к металлам и установленным в регуляторах уплотнениям.

Одним из масел, удовлетворяющих перечисленным выше требованиям, является

ВЫБОР РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ, ОПТИМАЛЬНОЙ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИХ ОПОР НОВОГО ТИПА

трансформаторное, которое большей частью и употребляется в качестве рабочей жидкости в промышленных гидросистемах. Трансформаторное масло обладает высокой стойкостью против окисления и не содержит воды и механических примесей.

Более дешевым маслом, по сравнению с трансформаторным, является веретенное масло марки В-20, которое также относится к группе нефтяных дестиллятных масел.

Часто применяемой рабочей жидкостью в гидросистемах служат спиртоглицериновые смеси, для приготовления которых применяется этиловый спирт и глицерин (жидкость СГ), и смесь этилового спирта, глицерина и воды (жидкость СВГ) в различных соотношениях.

Спиртоглицериновые смеси обладают некоторыми недостатками: они оказывают коррозирующее действие на металлические гидросистемы, сильно испаряются, переохлаждаются при низких температурах и «плохо смазывают трущиеся части, что вызывает быстрый износ деталей системы. Поэтому более широкое распространение в гидросистемах получили нефтяные масла.

В настоящее время разработаны жидкость ДС-200, полиметилсилоксановая жидкость ПМС-20, и ортокремниевые эфиры, которые показали хорошие результаты в диапазоне температур от -54°C до $+204^{\circ}\text{C}$. Недостатком этих жидкостей является их несовместимость с водой: при попадании воды в систему эти жидкости значительно изменяют свои свойства [1]. На рисунке 1 представлены графики изменения вязкости наиболее часто применяющихся в гидросистемах масел в зависимости от температуры.

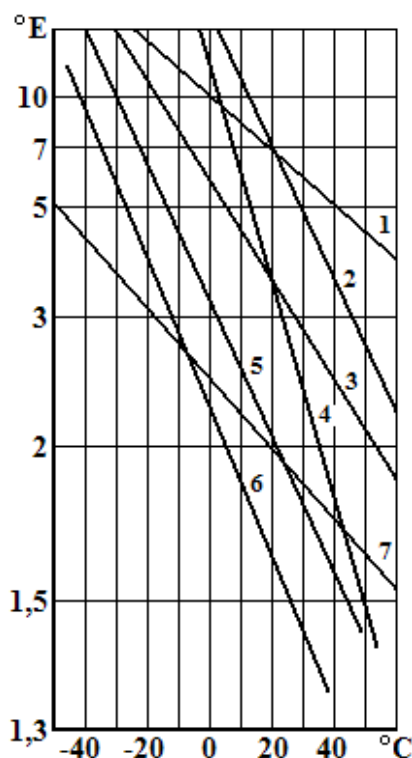


Рисунок 1 – Температурно-вязкостная характеристика масел (1-силиконовое ДС 200/50; 2-веретенное; 3-минеральное 43; 4-трансформаторное; 5-компрессорное; 6-вазелиновое; 7-экспериментальное силиконовое)

Из рисунка 1 видно, что наименьшее изменение вязкости при низких температурах наблюдается в силиконовых маслах, разработанных в последнее время. Достаточная смазывающая способность силиконовых масел, незначительное разъедающее действие их на уплотнения гидросистем и невысокая, по сравнению с обычными минеральными маслами, стоимость делает предпочтительным применение их в промышленных гидравлических системах. Часто применяемое трансформаторное масло имеет малую вязкость при температурах порядка 15°C и выше, но приобретает значительную вязкость при отрицательных температурах, что затрудняет работу гидравлических установок на открытом воздухе в

условиях среднего климата. Прибавление специальных химических присадок к минеральным маслам позволяет уменьшить вязкость масла при температурах окружающего воздуха ниже нуля.

К современным высокоэффективным в гидросистемах жидкостям, применяемым, например, в авиации, относятся минеральная гидравлическая жидкость «Гидрониколь FH 51», гидравлическая жидкость «Skydrol®» на основе эфиров фосфорной кислоты, зависимости кинематической вязкости от температуры для этих жидкостей приведены на рисунках 2 и 3.

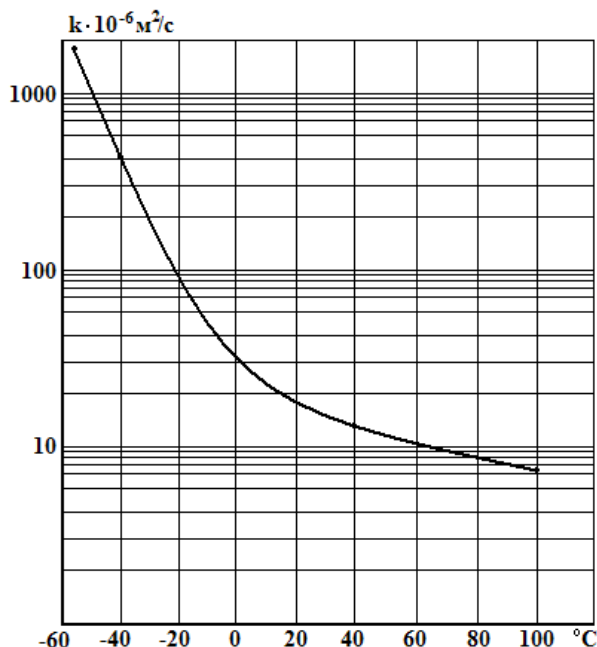


Рисунок 2 – Зависимость кинематической вязкости от температуры гидравлической жидкости «Гидрониколь FH 51».

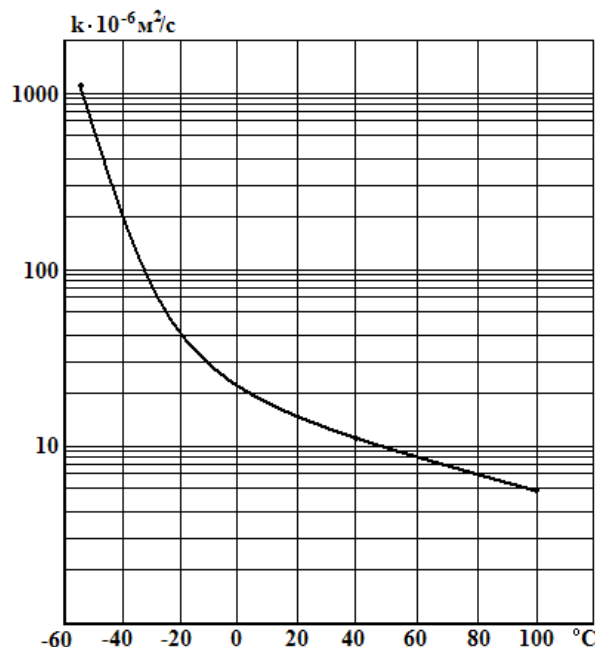


Рисунок 3 – Зависимость кинематической вязкости от температуры гидравлической жидкости «Skydrol®».

В качестве сравнительного критерия для выбора оптимальной для гидравлических виброизолирующих опор нового типа рабочей жидкости, будем использовать коэффициент демпфирования [2]. Экспериментально были исследованы амплитудно-частотные характеристики образцов гидравлических виброизолирующих опор. Затем определяли ширину резонансного пика колебаний в тех точках кривой, в которых динамические перемещения составляли некоторую долю резонансных динамических перемещений системы. Эта доля была выбрана равной $1/\sqrt{2}$ и ширина полосы резонансной амплитуды составляла около 3 дБ, поскольку амплитудный коэффициент $1/\sqrt{2}$ характеризовал уменьшение амплитуды в децибелах: $\Delta = 20 \lg(1/\sqrt{2}) = -3,01$ дБ. Зная резонансную и трехдецибельные частоты, коэффициент демпфирования a определялся из выражения $\Delta\omega/\omega_{рез} = 2a$.

Графическая зависимость коэффициентов демпфирования от величины входных возмущений, определенных по резонансам амплитудно-частотных характеристик, для различных заполнителей гидравлических виброизолирующих опор нового типа приведена на рисунке 4.

Из исследованных жидкостей наилучшими показателями обладает этиленгликоль ГОСТ 10164-75. Эксперименты показали, что вязкость рабочих жидкостей, которая менялась от 1,002 у воды до 1480 МПа·с у глицерина, слабо влияет на коэффициент демпфирования гидравлических виброизолирующих опор нового типа. Кроме коэффициентов демпфирования критериями выбора рабочей жидкости для гидравлических виброизолирующих опор но-

ВЫБОР РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ, ОПТИМАЛЬНОЙ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИХ ОПОР НОВОГО ТИПА

вого типа (кроме ранее перечисленных) служили: себестоимость; технологичность; безопасность; эксплуатационные затраты.

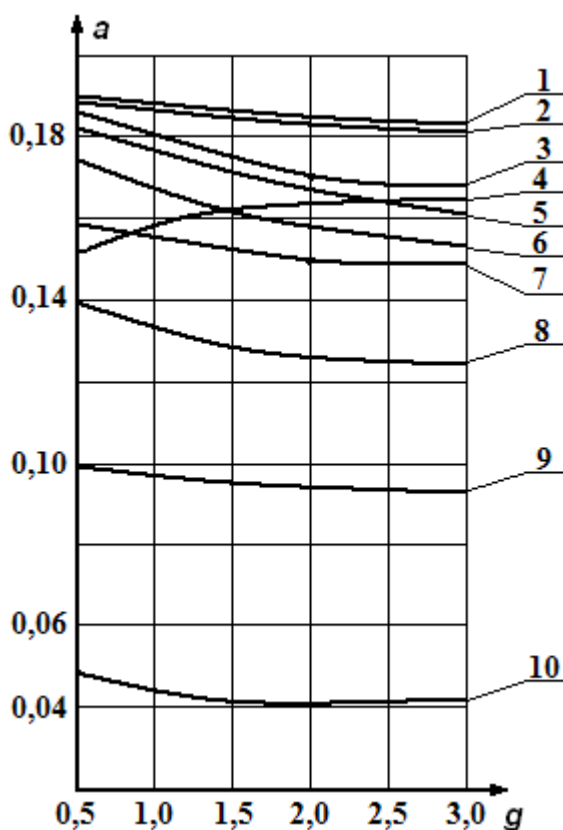


Рисунок 4 – Графическая зависимость коэффициентов демпфирования от величины входных возмущений для различных жидкостей (1-«Skydrol[®]», 2-«Гидрониколь FH 51», 3-ПМС-20, 4-вода, 5-этиленгликоль, 6-тосол А40М, 7-ДС-200, 8-трансформаторное масло, 9-глицерин, 10-полая ПВО).

Исходя из соображений высокой стоимости (на порядок выше этиленгликоля) приходится отказываться от таких подходящих жидкостей (используемых в авиации) как «Гидрониколь FH 51» и «Skydrol[®]».

Анализ показал, что этиленгликоль обладает существенными недостатками, к которым следует отнести: температурный диапазон применения этиленгликоля ограничен снизу температурой -45°C , что не позволяет использовать его в полной мере; этиленгликоль взрывоопасен и ядовит (требует защиты рабочего-оператора при производстве), что выдвигает необходимость применения спецусловий, надежной специальной приточно-вытяжной вентиляции, тщательного контроля производственного процесса, дополнительных производственных площадей и мер безопасности; этиленгликоль не всегда совместим с марками резин, хорошо подходящих для использования в гидравлических виброизолирующих опорах нового типа.

Результатом дополнительного поиска рабочей жидкости вместо этиленгликоля явилось использование полиметилсилоксановой жидкости ПМС-20 ТУ 6-02-737-78 с такой же вязкостью, что и этиленгликоль, с низким температурным пределом применения -60°C , являющейся безвредной и хорошо совместимой со всеми конструкционными материалами. Единственным относительным недостатком жидкости ПМС-20 является то, что ее стоимость несколько выше. Однако за счет более простого, дешевого и экологически чистого технологического процесса снабжения гидравлических виброизолирующих опор нового типа с применением ПМС-20, когда затраты на оборудование, оснастку и обеспечение необходимых условий труда много ниже, чем с применением этиленгликоля использование ПМС-20 ока-

жется выгоднее.

Таким образом, из проведенного исследования гидравлических жидкостей и оптимизации коэффициента демпфирования ПВО можно сделать вывод о том, что наилучшей рабочей жидкостью для гидравлических виброизолирующих опор нового типа является полиметилсилоксановая жидкость ПМС-20 (ТУ 6-02-737-78).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Гавриленко, Б.А.** Гидравлические системы [Текст]: / Б.А. Гавриленко, Б.А. Минин // - М.: Машиностроение, 1978. -315 с.

2 **Фомичев, П.А.** Определение критерия выбора рабочей жидкости для гидравлических виброизолирующих опор нового типа [Текст]: / П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. -2007. -№1.

ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 532.5+621.4-752

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЯ ВЫБОРА РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИХ ОПОР НОВОГО ТИПА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева

Дано математическое описание одного из наиболее общих методов оценки демпфирования системы виброизоляции, который состоит в определении ширины резонансного пика колебаний в тех точках кривой динамических перемещений, в которых они составляют некоторую долю резонансных динамических перемещений гидравлической виброизолирующей опоры нового типа.

Один из общих методов оценки демпфирования системы виброизоляции состоит в определении ширины резонансного пика колебаний в тех точках кривой для динамических перемещений, в которых динамическое перемещение составляет некоторую долю резонансных динамических перемещений гидравлической виброизолирующей опоры нового типа [1], например точки А и В на рисунке 1.

Принято считать, что точки А и В соответствуют частотам, при которых амплитуда динамических перемещений в $1/\sqrt{2}$ раз меньше максимальной амплитуды [2]. Ширина частотной полосы, соответствующей этим точкам, называется иногда шириной полосы, соответствующей половине рассеиваемой мощности – термин, заимствованный из теории электрических цепей, где амплитуда измеряется в вольтах, а электрическая энергия пропорциональна квадрату напряжения. Этот амплитудный коэффициент $1/\sqrt{2}$ характеризует уменьшение амплитуды в децибелах $20\lg(\sqrt{2}) = -3,01$ дБ.

Эта характеристика, связанная с коэффициентом $1/\sqrt{2}$, часто называется трехдецибельной шириной полосы. Более общим способом демпфирование системы можно оценивать значением ширины полосы между произвольными точками А и В, соответствующей амплитудному коэффициенту n^{-1} , где $n > 1$. Хотя на практике вариации этой характеристики

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЯ ВЫБОРА РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ
ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИХ ОПОР НОВОГО ТИПА**

ограничены, иногда используются как значения $n > \sqrt{2}$, так и $n < \sqrt{2}$.

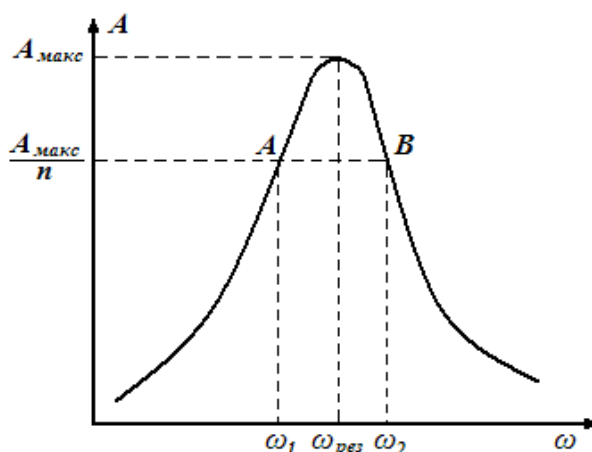


Рисунок 1 – Частоты, определяющие ширину полосы резонансной амплитуды

Рассмотрим вязкое демпфирование гидравлической виброизолирующей опоры, схема которой приведена на рисунке 2, где P – внешняя сила, m – масса, C – коэффициент жесткости упругого элемента, k – коэффициент вязкости, x – перемещения объекта.

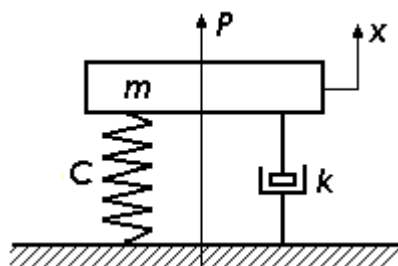


Рисунок 2 – Принципиальная схема колебательной системы

При действии возбуждающей колебания силы $P \cos \omega t$ в гидравлической виброизолирующей опоре нового типа возникают перемещения $x(t)$, описываемые дифференциальным уравнением

$$m\ddot{x}(t) + k\dot{x}(t) + Cx(t) = P \cos \omega t. \quad (1)$$

Частным решением этого уравнения является

$$x_{\text{чр}} = \frac{P \cos(\omega t - \varepsilon)}{\sqrt{(C - m\omega^2)^2 + \omega^2 k^2}}. \quad (2)$$

Отсюда

$$\left| \frac{x_{\text{чр}}}{P} \right|_{\text{max}} = \frac{1}{\sqrt{(C - m\omega^2)^2 + \omega^2 k^2}}.$$

Тогда

$$\omega = \omega_{\text{рез}} = \sqrt{\frac{C}{m} \left(1 - \frac{k^2}{2Cm} \right)}.$$

Подставляя значение резонансной частоты в общее решение исходного уравнения (1)

$$x_{\text{ор}} = \frac{P}{\sqrt{(C - m\omega^2)^2 + \omega^2 k^2}}, \quad (3)$$

получим амплитуду $X_{p,рез}$

$$X_{p,рез} = \frac{\frac{P}{C}}{\sqrt{\frac{k}{\sqrt{Cm}} \left(1 - \frac{k^2}{4Cm}\right)}}. \quad (4)$$

Для того чтобы найти частоты, соответствующие точкам А и В, в которых амплитуда в n раз меньше резонансной $X_{p,рез}$, следует динамическое перемещение $x_{дп}$, определяемое выражением (2), приравнять умноженному на $1/\sqrt{2}$ динамическому перемещению (4) при резонансе $X_{p,рез}$, в результате чего получим

$$\frac{1}{\left(1 - \frac{m\omega^2}{C}\right)^2 + \frac{k^2\omega^2}{C^2}} = \frac{1}{\frac{kn}{\sqrt{Cm}} \sqrt{1 - \frac{k^2}{4Cm}}},$$

или

$$\frac{m\omega_i^2}{C} - 2\left(1 - \frac{2k^2}{4Cm}\right) \frac{m\omega_i^2}{C} + 1 - 4n^2 \frac{k^2}{4Cm} \left(1 - \frac{k^2}{4Cm}\right) = 0.$$

Это квадратное уравнение имеет два решения:

$$\omega_{1,2}^2 = \frac{C}{m} \left(1 - 2\frac{k^2}{4Cm} \pm 2\sqrt{n^2 - 1} \frac{k}{2\sqrt{Cm}} \sqrt{1 - \frac{k^2}{4Cm}}\right). \quad (5)$$

При $\frac{k^2}{4Cm} \ll 1$ получаем

$$\omega_{1,2} \sqrt{\frac{m}{C}} = 1 \pm \sqrt{n^2 - 1} \frac{k}{2\sqrt{Cm}}, \quad (6)$$

откуда следует соотношение

$$\frac{\Delta\omega}{\omega_{рез}} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_{рез}} = 2\sqrt{n^2 - 1} \frac{k}{2\sqrt{Cm}}. \quad (7)$$

Следовательно, при $n = \sqrt{2}$ имеем $\frac{\Delta\omega}{\omega_{рез}} = 2 \frac{k}{2\sqrt{Cm}} = 2a$, где $a = \frac{k}{2\sqrt{Cm}} = \frac{k}{a_{кр}}$ – коэффициент демпфирования, $a_{кр} = 2\sqrt{Cm}$ – критическое демпфирование системы. Частоты, соответствующие точкам А и В (рисунок 1), в которых амплитуда динамических перемещений в n раз меньше резонансной амплитуды $X_{p,рез}$, равны $\omega_{1,2} = \sqrt{\frac{C}{m}} \left(1 \pm \eta \sqrt{n^2 - 1}\right)$, где η – коэффициента потерь.

Зависимость коэффициента потерь η от параметра $\frac{\Delta\omega}{\omega_{рез}}$ для гидравлических виброизолирующих опор нового типа приведена на рисунке 3, а зависимость динамической реакции $\frac{x}{P}$ от частоты колебаний f для этих же опор приведена на рисунке 4.

Отсюда при $n = \sqrt{2}$, имеем

$$\frac{\Delta\omega}{\omega_{рез}} = \sqrt{1 + \eta} - \sqrt{1 - \eta}, \quad (8)$$

а при $\eta \ll 1$

$$\frac{\Delta\omega}{\omega_{рез}} \approx \left(1 + \frac{\eta}{2}\right) - \left(1 - \frac{\eta}{2}\right) = \eta. \quad (9)$$

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЯ ВЫБОРА РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ
ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИХ ОПОР НОВОГО ТИПА**

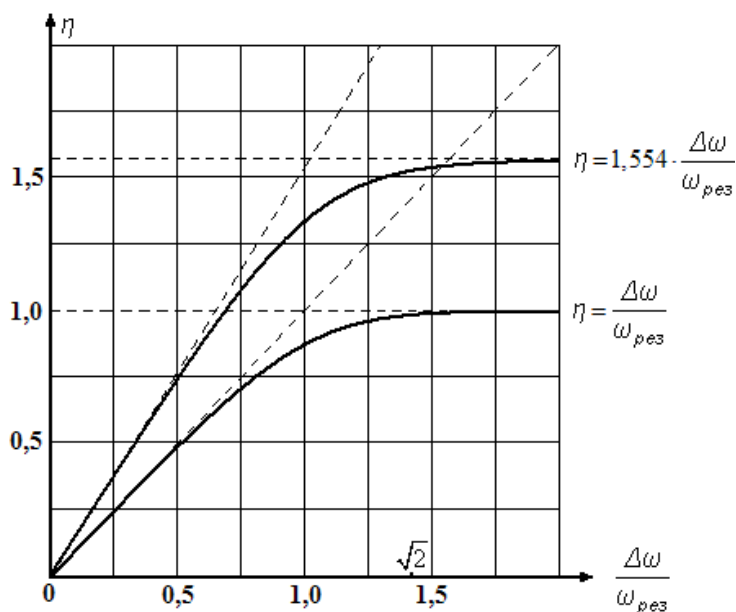


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента потерь η от параметра $\Delta\omega/\omega_{рез}$ для гидравлических виброизолирующих опор нового типа

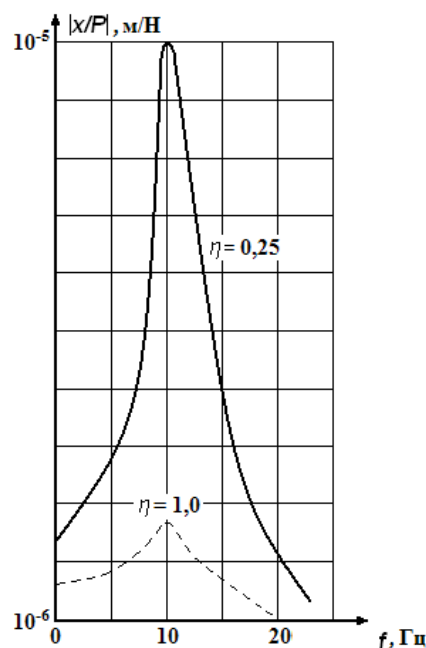


Рисунок 4 – Зависимость динамической реакции x/P от частоты колебаний f для гидравлических виброизолирующих опор нового типа ($C=Const, \eta = Const$)

Соотношение между $\Delta\omega/\omega_{рез}$ и η линейно только для малых значений η (рисунок 3). Отметим, что при $\eta > 1$ не существует частоты ω_1 в рамках предположения о гистерезисном демпфировании, при которой амплитуда динамических перемещений равнялась бы $|X_p|/\sqrt{2}$. В действительности при $\eta > 1$ «пиковая» амплитуда будет меньше статического перемещения P/C . Это справедливо не только для случая гистерезисного демпфирования, но и для тех случаев, когда параметры $\eta(\omega)$ и $C(\omega)$ определяются из экспериментов с реальными материалами.

Коэффициент A усиления при резонансе, который равен отношению амплитуды динамических перемещений при резонансе к перемещению, обусловленному статической нагрузкой, является характеристикой демпфирования для гидравлических виброизолирующих опор нового типа при действии силы, возбуждающей колебания

$$A = \frac{X_{p,рез}}{P/C} \quad (10)$$

В случае вязкого демпфирования A равно

$$A = \frac{1}{2a\sqrt{1-a^2}}, \quad (11)$$

где $a = \frac{k}{a_{кр}} = \frac{k}{2\sqrt{Cm}}$.

При $a \ll 1$ получаем известное выражение

$$A = 1/(2a). \quad (12)$$

Аналогично в случае гистерезисного демпфирования при $\omega = \sqrt{\frac{C}{m}}$ имеем

$$A = \sqrt{\frac{1+\eta^2}{\eta}}, \quad (13)$$

откуда при $\eta \ll 1$ получаем

$$A = \frac{1}{\eta}. \quad (14)$$

Коэффициент А можно также представить в виде отношения максимальной энергии, накопленной в системе, и энергии, поглощаемой за один цикл [3]

$$A \approx Q = \frac{2\pi U_s}{D_s}, \quad (15)$$

где

$$U_s = \int_{x=0}^{x_p} P dx = \frac{1}{2} C X_p. \quad (16)$$

X_p – амплитуда динамических перемещений при гармоническом воздействии.

В случае возбуждения колебаний через гидравлические виброизолирующие опоры нового типа накопленная энергия равна

$$U_s = \frac{1}{2} C X_r^2, \quad (17)$$

где X_r – амплитуда перемещения массивного тела относительно опоры.

Проведенное в настоящей статье теоретическое исследование метода оценки демпфирования системы виброизоляции впоследствии позволит подобрать для гидравлических виброизолирующих опор нового типа наиболее подходящую рабочую жидкость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Глушков, С.П. Виброизолирующие гидравлические опоры нового поколения [Текст]: / С.П. Глушков, П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева // -Новосибирск: НГАВТ, 2005. -190 с.
- 2 Нагиф, А. Демпфирование колебаний [Текст]: / А. Нагиф, Д. Джоунс, Дж. Хендерсон // -М.: Мир, 1988. -448 с.
- 3 Темный, В.П. Основы гидроавтоматики [Текст]: / В.П. Темный // -М.: Наука, 1972. - 224 с.

ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 627.42

ХАРАКТЕР ДВИЖЕНИЯ ГРЯДОВЫХ ФОРМ В НИЖНЕМ БЬЕФЕ НОВОСИБИРСКОЙ ГЭС

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Н.П. Ахматова

Прогнозирование и улучшение судоходных условий на реках с зарегулированным стоком является весьма актуальной темой для исследования. Прогноз судоходных условий реки во многом зависит от изменения твердого стока, который обусловлен характером движения грядовых форм. В статье исследованы изменения динамических характеристик движения донных гряд в нижнем бьефе новосибирской ГЭС за многолетние и сезонные периоды наблюдений.

**ХАРАКТЕР ДВИЖЕНИЯ ГРЯДОВЫХ ФОРМ В НИЖНЕМ
БЬЕФЕ НОВОСИБИРСКОЙ ГЭС**

Новосибирский гидроузел, созданный в конце 50-х годов, образует водохранилище с полезной емкостью 4,4 км³. Помимо сезонного регулирования стока Новосибирская ГЭС используется для суточного и недельного регулирования мощности в энергосистеме Западной Сибири [1].

Строительство и эксплуатация Новосибирской ГЭС на р. Обь привели к существенному изменению гидрологического режима и направленности русловых процессов в нижнем бьефе (посадка уровней воды, задержка водохранилищем твердого стока наносов, изменение формы поперечного сечения русла и т.д.), что, в свою очередь, сказалось на судоходных условиях этого плеса. Следует отметить и особенности геоморфологического строения русла реки на этом участке, которые заключаются в малой глубине залегания гранитных подстилающих пород. Кроме того, на русловые процессы и судоходные условия оказывают влияние и другие виды антропогенного воздействия. К ним относятся разработка русловых карьеров, землечерпательные работы по трассе судового хода, возведение выправительных и берегоукрепительных сооружений [1].

Для исследований был выбран приплотинный участок (684-704 км по судовому ходу) и участок Новосибирская ГЭС – с. Ташара (120 км от створа гидроузла, 684-804 км по судовому ходу), который характеризуется неустановившемся движением воды, обусловленным прохождением волн преимущественно суточного регулирования.

Задачей данного исследования являлось отслеживание изменений динамических характеристик движения донных гряд за многолетний период (1973-2005 г.г.) и сезонные (на подъеме и на спаде половодья в навигацию 2006 г.). Обработка натурных данных была выполнена с применением методов статистики [2].

В качестве критерия, характеризующего движение донных гряд, было принято число Фруда $Fr = v_{\text{гряды}} / \sqrt{g \cdot T_e}$, которое рассчитывалось по скорости перемещения гряды $v_{\text{гряды}}$.

Зависимость числа Фруда (для гряды) от относительного смещения гряд за многолетние периоды (1973-2005 г.г.) времени представлена на рисунке 1, а за сезонные периоды на рисунке. 2.

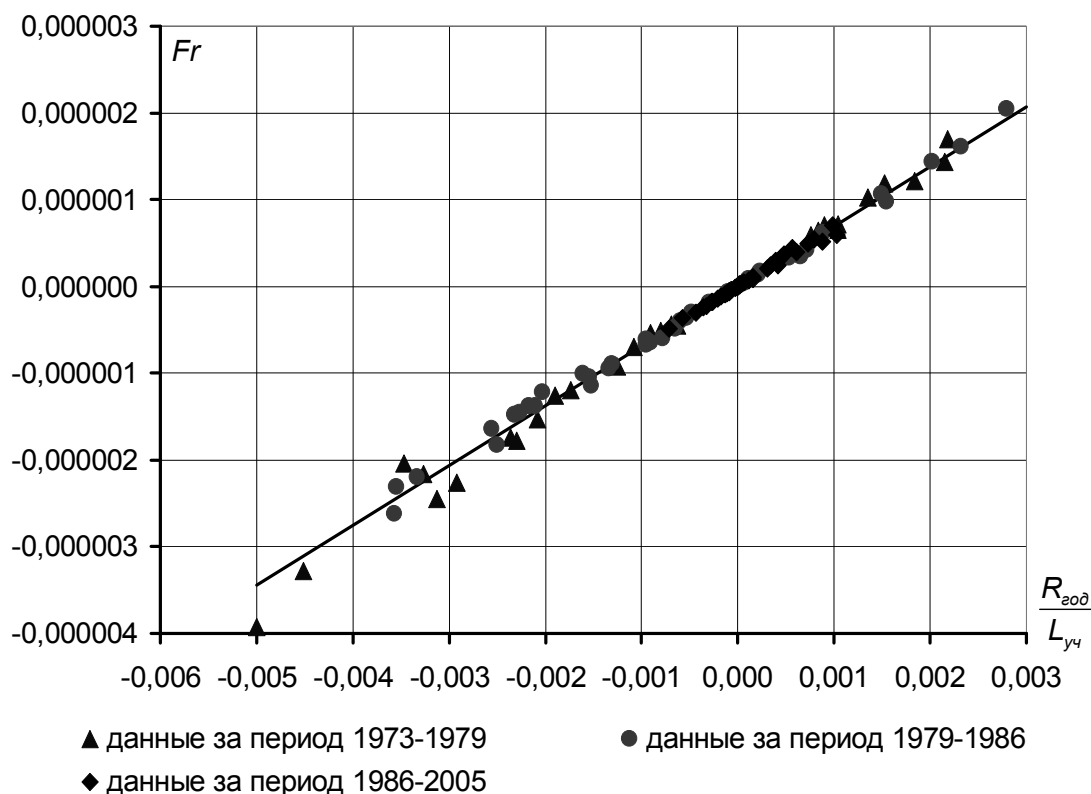


Рисунок 1 – График зависимости числа Фруда (для гряды) от относительного смещения гряды за многолетние периоды наблюдений

Анализ расположения точек показывает, что за рассмотренные периоды исследования взаимосвязь между смещением гребня гряды и числом Фруда не изменилась. Поэтому ее можно описать одним уравнением прямой с постоянным коэффициентом

$$Fr = k \cdot \frac{R}{L_{уч}}, \quad (1)$$

где R – смещение гребня гряды за 1 год, км (за 1 месяц, м);

$L_{уч}$ – длина рассматриваемого участка (120 км);

$k = 0,000689$ – для многолетнего периода наблюдений; $k = 0,005899$ – для характерных сезонных периодов.

Коэффициент корреляции для зависимости (1) составил 0,99 как для многолетнего периода наблюдений, так и для сезонного, следовательно, полученная зависимость является функциональной и можно записать формулу для нахождения величины $R/L_{уч}$ по известному значению числа Фруда следующим образом

$$\frac{R}{L_{уч}} = A \cdot Fr, \quad (2)$$

где $A = 1451,379$ – для многолетнего периода наблюдений;

$A = 169,520$ – для характерных сезонных периодов.

Используя зависимости (1), (2) можно прогнозировать значение числа Фруда или смещение гряды на многолетний период, причем можно учесть направление движения гряд.

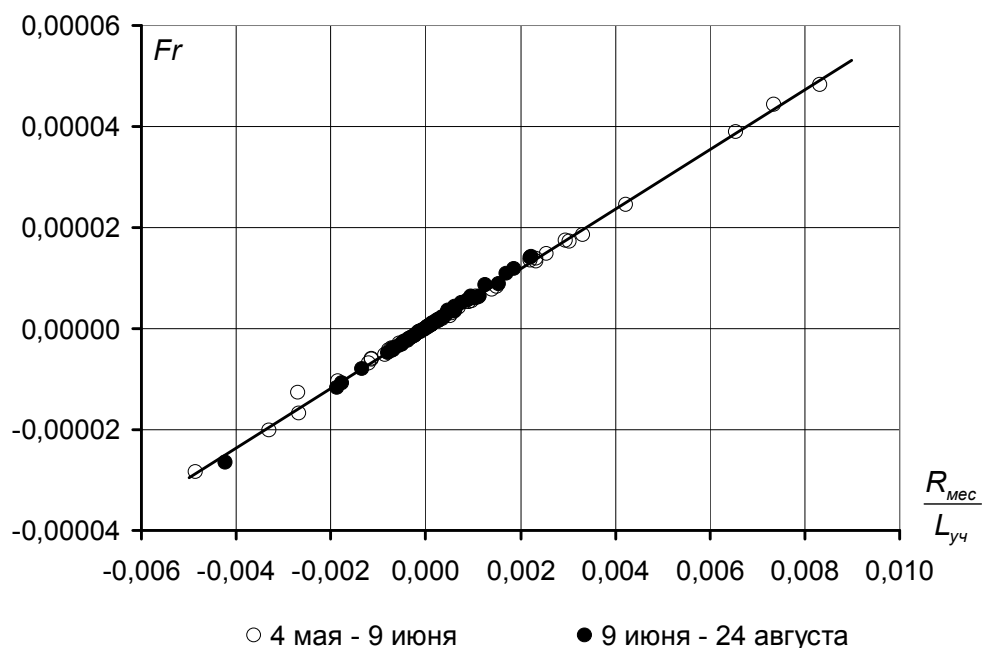


Рисунок 2 – График зависимости числа Фруда (для гряды) от относительного смещения гряды за навигацию 2006 года

Для анализа воздействия речного потока на деформацию донных гряд было рассчитано

число Фруда $Fr = \frac{U_{на\ гребне}}{\sqrt{g \cdot T_г}}$, по скорости потока на гребне $U_{на\ гребне}$.

Зависимость числа Фруда (для потока) от относительной глубины на гребне гряды при проектном уровне за характерные сезонные периоды представлена на рисунке 3 и описывается степенной зависимостью вида

**ХАРАКТЕР ДВИЖЕНИЯ ГРЯДОВЫХ ФОРМ В НИЖНЕМ
БЬЕФЕ НОВОСИБИРСКОЙ ГЭС**

$$Fr = 0,036339 \cdot \left(\frac{T_{гп}}{T_{гар}} \right)^{-2,181} + 0,004664, \quad (3)$$

где $T_{гп}$ – глубина на гребне гряды при проектном уровне, м;

$T_{гар}$ – гарантированная глубина для плеса Новосибирская ГЭС – устье р.Томь равная 2,3 м.

Коэффициент корреляции для зависимости (3) составляет 0,65, следовательно, расчетная зависимость дает удовлетворительное совпадение с натурными данными.

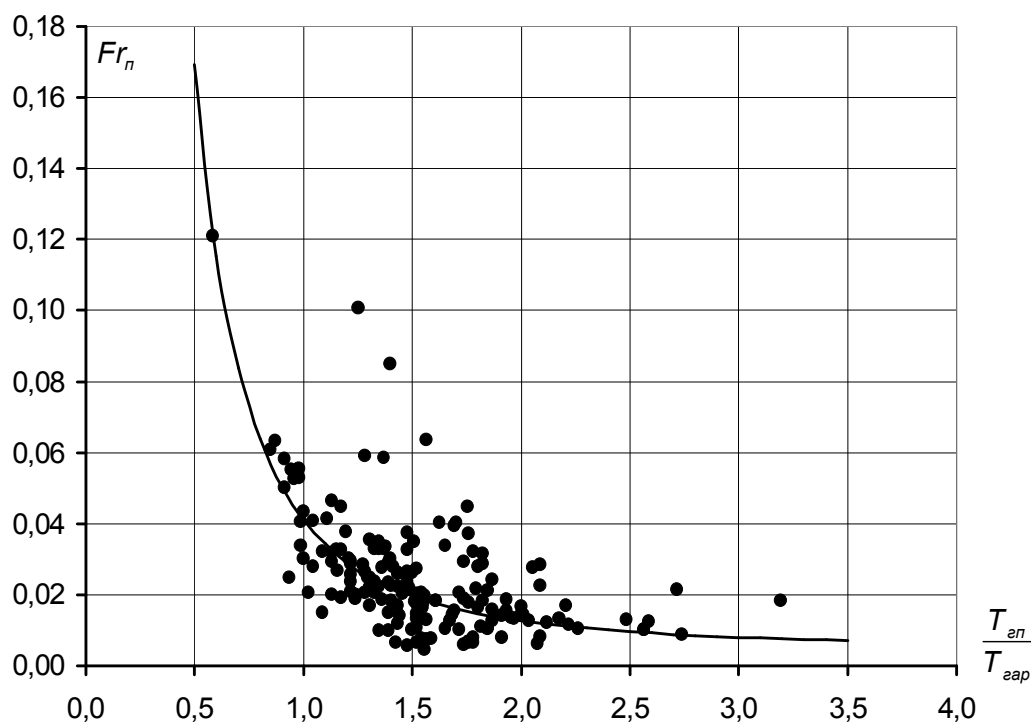


Рисунок 3 – График зависимости числа Фруда (для потока) от относительной глубины за навигацию 2006 года

Затем был построен график зависимости числа Фруда (для потока) от относительного положения гребня гряды за характерные сезонные периоды, который представлен на рисунке 4. Хорошо прослеживается наличие двух зон по длине расчетного участка, для каждой из которых было составлено свое уравнение:

– при $\bar{L} = 0,02 \div 0,08$

$$Fr = 5,012 \cdot 10^{-9} \cdot \bar{L}^{-4,69} + 0,015342; \quad (4)$$

– при $\bar{L} = 0,08 \div 0,20$

$$Fr = 16,279263 \cdot \bar{L}^2 - 4,490499 \cdot \bar{L} + 0,317324. \quad (5)$$

Коэффициенты корреляции составили 0,54 для выражения (4) и 0,68 для выражения (5), что говорит об удовлетворительном совпадении расчетных и натурных данных.

Предложенные зависимости дают возможность определить скорость движения гряд и скорость движения потока, а затем перейти к нахождению твердого стока на участке нижнего бьефа р.Обь.

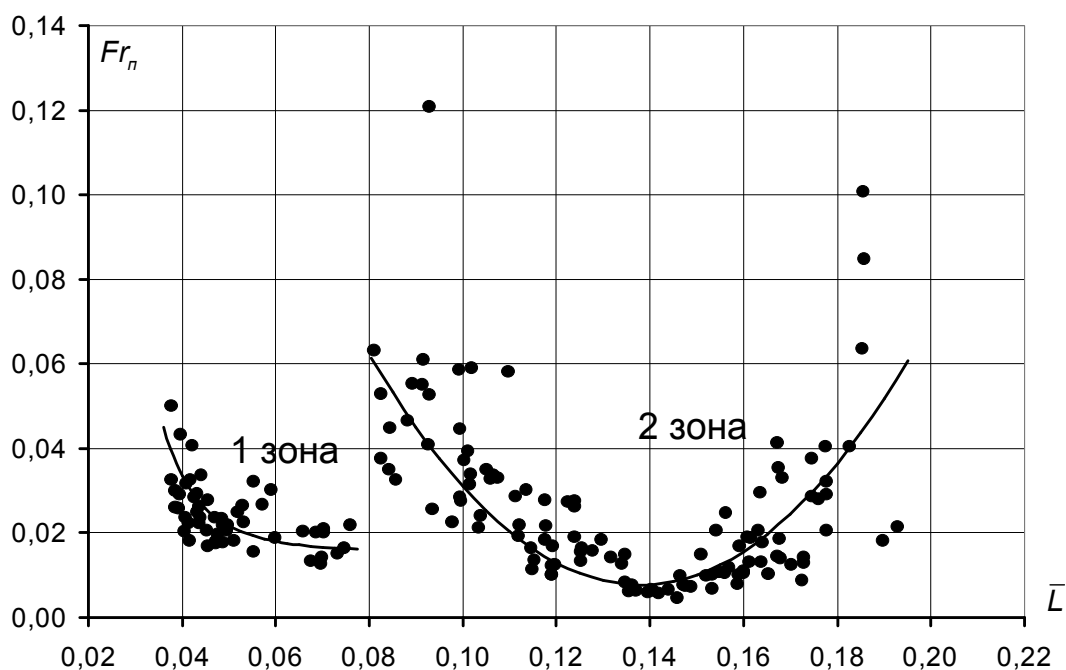


Рисунок 4 – График зависимости числа Фруда (для потока) от относительной положения гребня гряды за навигацию 2006 года

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Чалов, Р.С.** Русловые процессы и водные пути на реках Обского бассейна [Текст]: / Р.С. Чалов, Е.М. Плескевич, В.А. Баула // -Новосибирск: РИПЭЛ плюс, 2001. -300 с.
- 2 **Гордеев, О.И.** Математические методы обработки экспериментальных данных [Текст]: Пособие для инженеров, аспирантов и научных работников / О.И. Гордеев, В.Г. Павленко // -Новосибирск, 1972. -116 с.

ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 627.42

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДВИЖЕНИЯ СУДОВ НА РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.Б. Палагушкин

Проблема обеспечения безопасных условий плавания судов на малых реках приобретает особую актуальность, так как движение судов оказывает существенное влияние на уровенный и скоростной режим потоков. Исследовано влияние движения судов на русловые процессы на реках Катунь, Чарыш, Томь и Чулым в навигации 2003-2006 гг.

Как показывают результаты натурных исследований, при движении судов под воздействи-

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДВИЖЕНИЯ СУДОВ
НА РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ**

вием корпуса и движителей происходит изменение скоростного поля, наблюдаются волновые явления и деформируется продольный профиль свободной поверхности руслового потока.

Изучением гидродинамического воздействия судов на течение в каналах и камерах шлюза занимались А.А. Атавин [1], В.Н. Анфимов [2], А.М. Басин [2], В.В. Дорофеев [5], Д.А. Зернов [3], Ф.М. Кацман [4], С.С. Кирьяков [3], Т.И. Милконян [5], В.Г. Павленко и др., а для речных условий С.Н. Коротковым исследовалось влияние движения судна без учета работы движителя.

Натурные исследования, выполненные на реках Катунь, Чарыш, Томь и Чулым в навигации 2003-2006 гг. позволили получить необходимые натурные данные для обоснования расчетной схемы и разработки методов оценки влияния судов на русловые процессы на реках Обского бассейна с гравелисто-галечными и песчаными грунтами [6-8].

Расчетная зависимость для определения динамической просадки водоизмещающих судов может быть представлена в виде

$$\frac{\Delta H}{T} = A \cdot Fr^\alpha \cdot \left(\frac{U_c}{v}\right)^\beta \cdot \left(\frac{\Omega}{w}\right)^\gamma; \quad (1)$$

$$Fr = \frac{U_c^2}{gL},$$

где ΔH – динамическая просадка судна;

T – глубина воды в кормовом сечении судна;

Fr – число Фруда;

U_c – скорость движения судна в стоячей воде, равная первой критической скорости;

v – скорость течения;

Ω – мидель судна;

w – площадь живого сечения реки в кормовом сечении судна;

A, α, β, γ – эмпирические коэффициенты, значения которых приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Численные значения коэффициентов A, α, β, γ

Река	Для судов с водометными движителями				Для судов с винтовыми движителями			
	A	α	β	γ	A	α	β	γ
Катунь	4,2	0,74	0,82	0,68	6,3	0,72	0,67	0,64
Чарыш	4,7	0,76	0,84	0,63	6,5	0,74	0,69	0,61
Томь	3,8	0,77	0,79	0,61	5,9	0,75	0,61	0,57
Чулым	4,9	0,72	0,86	0,67	6,8	0,71	0,71	0,65

Выполненные натурные исследования позволили сделать вывод о том, что наибольшее влияние на гидродинамическую структуру потока и русловые процессы наблюдаются при движении судов вверх по течению. При этом на основе теоремы об изменении количества движения получено следующее расчетное уравнение

$$\Delta z = \frac{l_c}{D} \cdot \left[\frac{0,2Q_{\text{ос}}d}{v_c} - (C_{mp} + C_w) \cdot \frac{w}{2g} \cdot (v_c + 1,1v_\beta)^2 \right], \quad (2)$$

где Δz – перепад уровней воды по длине судна l_c ;

v_c, v_β – соответственно скорости движения судна относительно воды и скорость течения;

w – площадь смоченной поверхности судна;

D – объемное водоизмещение судна;

$Q_{\text{ос}}$ – расход воды, проходящий через движитель судна;

d – начальный диаметр струи воды от движителя;

C_{mp}, C_w – соответственно коэффициенты шероховатости корпуса судна и русла.

Принимая $\Delta z = 1,0$ м, из уравнения (2) можно найти нормальные условия движения судов, которые соответствуют основным условиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Атавин, А.А.** О колебаниях уровня воды при выводе судна из камеры судопропускного сооружения при вводе в нее судна большой грузоподъемности [Текст]: / А.А. Атавин, А.П. Яненко // Изв. ВУЗов. Строительство и архитектура. 1974. №9.

2 **Басин, А.М.** Гидродинамика судна [Текст]: / А.М. Басин, В.Н. Анфимов // -Л.: Речной транспорт, 1961.

3 **Зернов, Д.А.** Расчет посадки и дифферента судов при их движении в каналах [Текст]: / Д.А. Зернов, С.С. Кирьяков // Труды ЛИВТ – вып. 129 // -Л.: Транспорт, 1970. -С.5-29.

4 **Кацман, Ф.М.** Пропульсивные качества судов [Текст]: / Ф.М. Кацман, А.Ф. Пустошный, В.М. Штумиф // -Л.: Судостроение, 1972.

5 **Мелконян, Т.И.** Гидравлические исследования процессов ввода типового судна в камеру шлюза и вывода из нее [Текст]: / Т.И. Мелконян, В.В. Дорофеев // -М.: в/о «Мортехинформреклама», 1991. -28 с.

6 Палагушкин, А.Б. Натурные исследования влияния движения судов на уровенный и скоростной режим перекатов [Текст]: / А.Б. Палагушкин // Сибирский научный вестник. Вып. VII. -Новосибирск: НГАВТ, 2003. -С. 142-143.

7 **Палагушкин, А.Б.** Оценка просадки судов на течении [Текст]: / А.Б. Палагушкин // Сибирский научный вестник. Вып. IX. Новосибирск: НГАВТ, 2005. -С. 177-178.

8 **Палагушкин, А.Б.** Влияние движущихся судов на гидравлическую структуру потока [Текст]: / А.Б. Палагушкин // Сибирский научный вестник. Вып. IX. Новосибирск: НГАВТ, 2005. -С. 178-179.

СУДОВОЖДЕНИЕ

УДК 656.61.052.4:621.121/.123-58

ИЗМЕРЕНИЕ ВЫСОТ И ДЛИН ВОЛН ОРТОГОНАЛЬНО-ЛИНЕЕЧНЫМ ДЛИНО-ВЫСОТО-ВОЛНОМЕРОМ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.И. Сичкарев, В.К. Лубковский

Описана конструкция ортогонально-линеечного длинно-высото-волномера, описан примененный способ для измерения высот и длин волн с мостика движущегося судна. Приведены статистические данные измерений волн в морях Дальнего Востока и приведена сравнительная оценка их принадлежности к генеральной совокупности волн выявляемой по факсимильным гидрометеорологическим картам.

Определение ветро-волновой потери скорости судов смешанного плавания, выполнявшееся методом поставленных наблюдений [1], натолкнулось на необычный вид гистограмм несоответствия между расчетной и наблюдаемой скоростью судна. Необычность заключалась в неслучайном бимодальном характере гистограмм, для объяснения которой выдвинута следующая гипотеза. Для вычисления потери скорости привлекалась информация о наблюдаемой высоте волн и о морском течении. Высоты волн определялись глазомерно,

**ИЗМЕРЕНИЕ ВЫСОТ И ДЛИН ВОЛН ОРТОГОНАЛЬНО-ЛИНЕЕЧНЫМ
ДЛИНО-ВЫСОТО-ВОЛНОМЕРОМ**

течение выбиралось с максимальной точностью из источников навигационной информации. И та, и другая величина обладали наименьшей точностью из всех, вводимых в расчетные формулы. При этом, если уточнить величину поверхностного течения в судовых условиях практически невозможно, то для определения высот волн с мостика судна в распоряжении судоводителя имеется ортогонально-линеечный длино-высото-волномер (ДВВМ), разработанный в НГАВТ.

Впервые ортогонально-линеечный волномер был предложен, изготовлен и испытан В.И. Сичкаревым в 1993 г. В 1999 году метод измерения, конструкция и результаты первых испытаний волномера были опубликованы в [2]. Впоследствии в [3-6] опубликованы результаты исследования точности измерений длин волн, статистической сущности выборки измеренных высот и ее связи с генеральной совокупностью волнового поля.

Было показано, что выборка, состоящая из измерений случайной последовательности наиболее крутых, рельефных, хорошо заметных волн имеет среднюю величину длины, совпадающую со средней длиной генеральной совокупности волнового поля. Другими словами, выборка измерений крутых волн репрезентативна по отношению ко всему волновому полю.

Дальнейшим развитием ортогонально-линеечного волномера стала конструкция, предназначенная для измерения длин и высот волн: ортогонально-линеечный длинно-высото-волномер (ДВВМ) [7].

ДВВМ имеет следующую конструкцию (рисунок 1). На вертикальную линейку 1 надет скользящий по ней с трением двуполоз 2. В двуполозе 2 установлена большая горизонтальная линейка 3, перпендикулярная вертикальной линейке 1. Линейка 3 имеет возможность горизонтального перемещения с трением в двуполозе 2 и вертикального перемещения по линейке 1 вместе с двуполозом 2. Над горизонтальной линейкой 3 на вертикальной линейке 1, установлен однополоз 4 с возможностью перемещения с трением по вертикальной линейке 1. На однополозе 4 жестко закреплена короткая линейка 5, параллельная большой горизонтальной линейке 3.

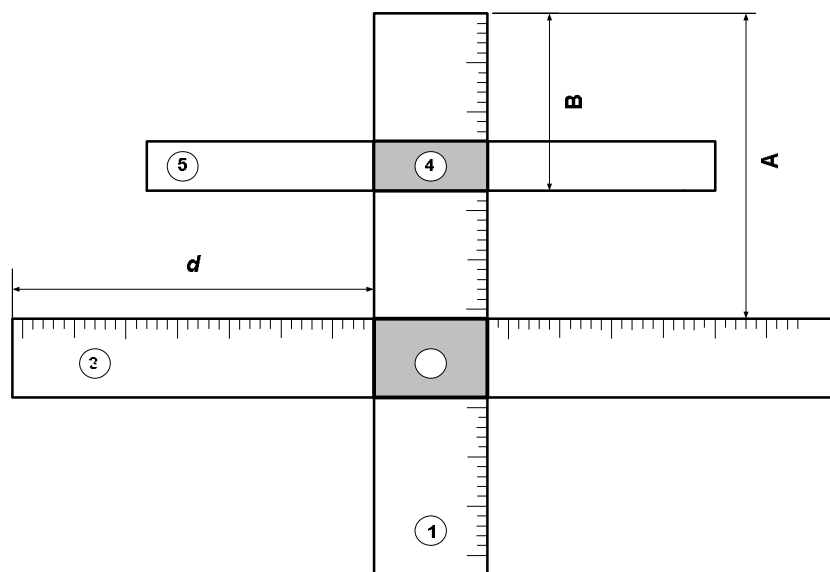


Рисунок 1 – Схема конструкции длино-высото-волномера, использованного для наблюдений в 2006/2007 гг. на т/х «ST STAR»

ДВВМ используется следующим образом. Подбирается хорошо выраженная рельефная волна, по возможности ближе к судну. Наблюдатель становится по отношению к направлению бега волны так, чтобы видеть наилучшим образом профиль волны, то есть его взгляд должен быть направлен вдоль фронта волны. Верхний торец вертикальной линейки 1 совмещается с направлением на видимый горизонт, нижняя грань линейки 5, совмещается с направлением на вершину волны, верхняя грань линейки 3 совмещается с направлением на подошву волны, линейка 3 выдвигается в двуполозе 2 до совмещения левого торца с на-

правлением на левый гребень, а левая грань линейки 1 с направлением на правый гребень волны. Снимаются замеры A, B, d , (см. рисунок 1).

При известной высоте глаза наблюдателя e над уровнем моря высота h и длина λ могут быть получены по формулам

$$h = \frac{e(A-B)}{A}; \quad \lambda = \frac{ed}{A}. \quad (1)$$

Первое функциональное применение ДВВМ было сделано В.К. Лубковским в зимний период 2006-2007 гг. в Японском море и Тихом океане на борту т/х «ST STAR». Им были выполнены натурные измерения раздельно высот и длин волн с помощью ДВВМ и сопоставление этих измерений с визуальными наблюдениями, таким образом накоплено 145 измерений этих величин.

Визуальные наблюдения (оценки) высоты и длины волн выполнялись независимо от результатов измерений, другим помощником капитана.

Как известно, визуальные оценки соответствуют в измерениях высот волн обеспеченности примерно 3%, а в измерениях длин волн – средним. Таким образом, прежде всего при анализе таблиц заметно достаточно хорошее совпадение измеренных и оцененных высот волн.

Для объяснения этого совпадения обратимся к примененной В.К. Лубковским технологии выбора волн для измерений: выбор не был случайным в последовательности крутых волн. Поскольку измерения высот волн с помощью ДВВМ осуществлено впервые, представляется важным выяснить, какие волны «попадаются» в волномер.

Измерение высот волн производилось следующим образом. Для первого измерения заранее примечалась наиболее приемлемая для измерений волна на расстоянии 150-200 м; устанавливалась большая горизонтальная линейка верхней кромкой в направлении подошвы волны; верхняя кромка вертикальной линейки выставлялась в направлении на линию горизонта. При подходе волны на кратчайшее расстояние к наблюдателю (около 50 м, но так, чтобы она не искажалась судовой волной и сохраняла свою выразительность) выставлялся нижний срез короткой горизонтальной линейки в направлении на вершину волны. Контролировалась точность выставления большой горизонтальной и вертикальной линеек и при необходимости они подправлялись. Снимались показания A, B, d (см. рисунок 1) при известной высоте глаза наблюдателя $e=13$ м.

Во избежание ошибок однократного измерения, с выставленными значениями отсчетов линеек проводились наблюдения за следующими волнами. По следующим волнам проверялось, имеется ли другая волна, подходящая под выставленные значения. Если около 10 волн подходили под выставленные положения линеек, то результат записывался. Если последующие волны имели несколько иные размеры, то положение линеек корректировалось по размеру большинства волн и, убедившись на примерно 10 волнах в соответствии их размеров установленным отсчетам, результаты записывались. После записи результатов процедура повторялась от 8 до 25 раз.

Таким образом, на основании описанной технологии измерений высот волн можно априорно принять гипотезу о том, что измеренные высоты волн должны иметь примерно ту же обеспеченность, что и визуальные наблюдения.

Для проверки этой гипотезы обратимся к имеющейся на срок наблюдений 27.12.2006 $T_c=10.00$ (Японское стандартное время $T=09.00$) факсимильной карте прогноза приземного волнения, полученной через Интернет (<http://www.imocwx.com/rsmwv/wv006jp.htm>), рисунок 2.

Согласно данным факсимильных карт, в месте расположения судна действует северо-западная часть области низкого давления, вызывающая северное ветровое волнение с высотой значительных волн $h_{3\%} = 1,5 - 2,0$ м. Следовательно, средние высоты волн из соотношения $h_{3\%}/\bar{h} = 1,64$ лежат в пределах $\bar{h} = 0,9 - 1,2$, а высоты волн 3% обеспеченности из соотношения $h_{3\%}/\bar{h} = 2,11$ лежат в пределах $h_{3\%} = 1,9 - 1,5$ м.

Таким образом, визуальные наблюдения и измерения ДВВМ оказались довольно близ-

**ИЗМЕРЕНИЕ ВЫСОТ И ДЛИН ВОЛН ОРТОГОНАЛЬНО-ЛИНЕЙНЫМ
ДЛИНО-ВЫСОТО-ВОЛНОМЕРОМ**

кими к высотам волн 3% обеспеченности.

Более точно квантиль распределения можно получить следующим образом. Разделим величину наблюдаемой высоты волны на среднее значение средних высот:

$$\frac{h_e}{\bar{h}} = \frac{1,8}{1,05} = 1,71.$$

Полученные значения квантиля обеспеченности соответствует высоте волн 10% обеспеченности.

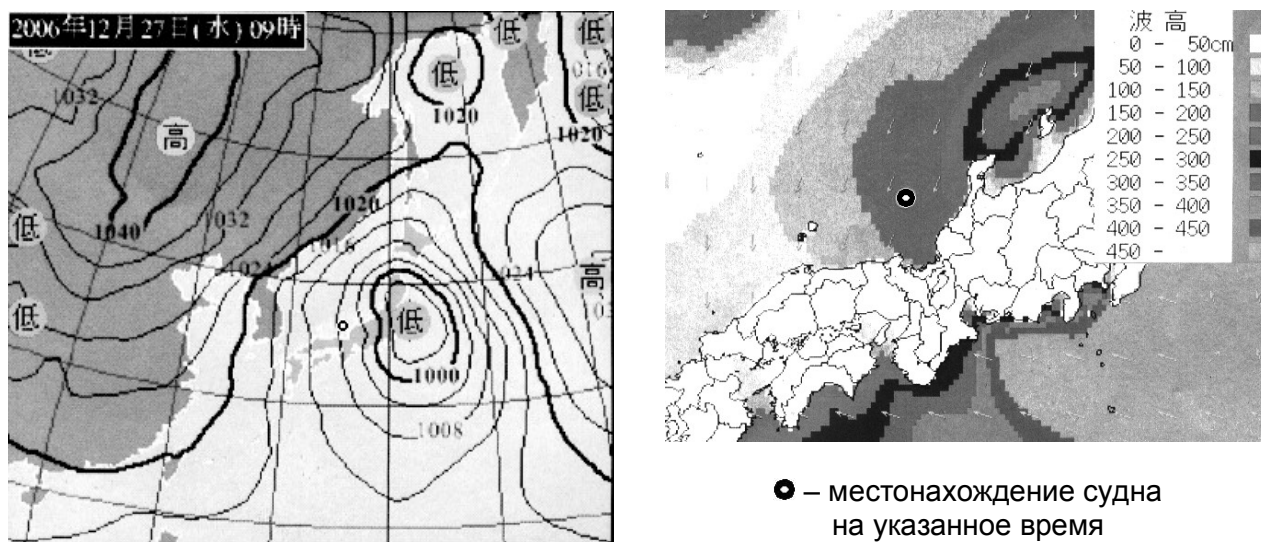
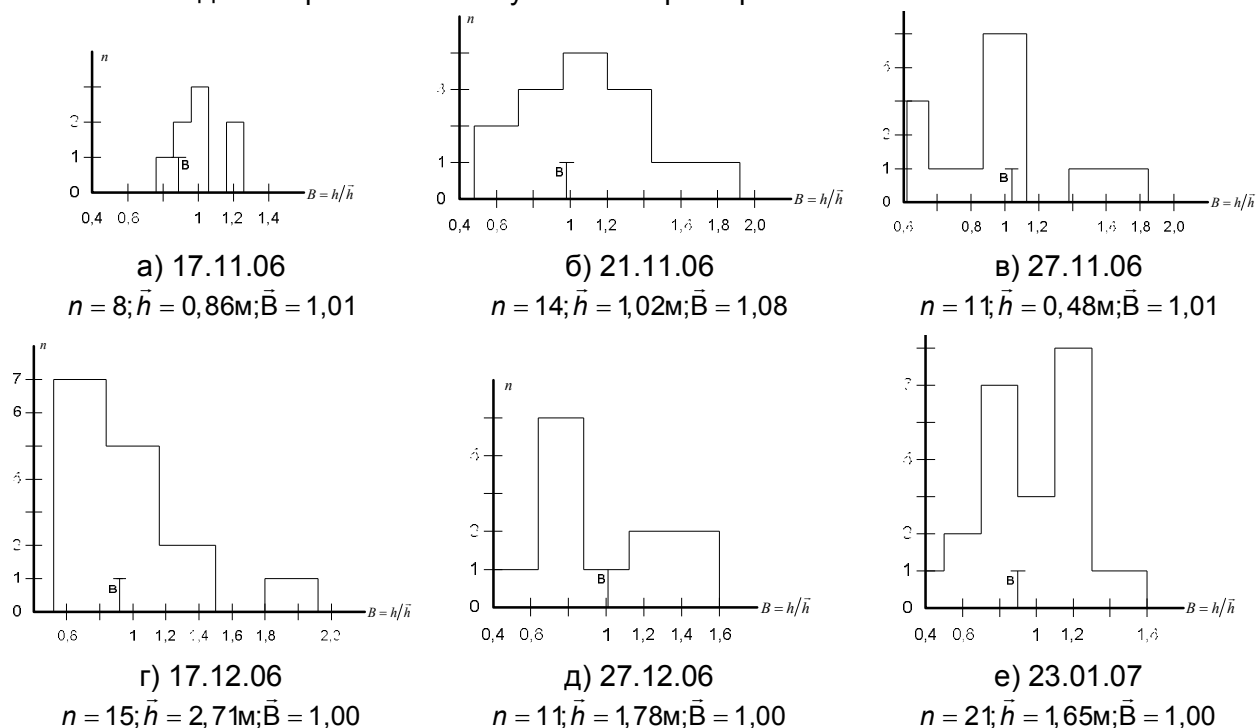
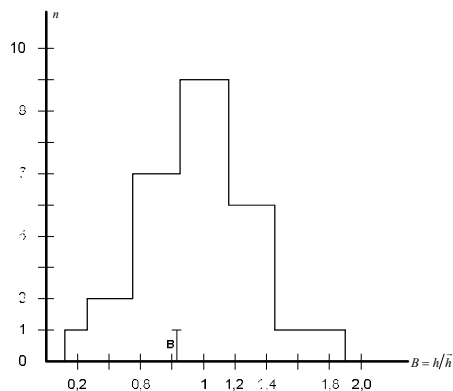


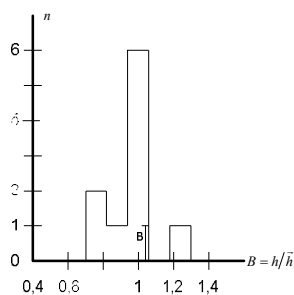
Рисунок 2 – Карта прогноза волнения вокруг Японии на Японское время $T=09.00$ ($T_c=10.00$) 27.12.2006

Рассмотрим полученные распределения измеренных нормированных (относительных) высот волн h/\bar{h} в наблюдениях с 17.11.06. по 16.02.07. Гистограммы нормированных высот в частных наблюдениях приведены на рис. 3 (а-л). Как видно, в частных наблюдениях с числом $n=8\div 25$ вид гистограмм имеет случайный характер.

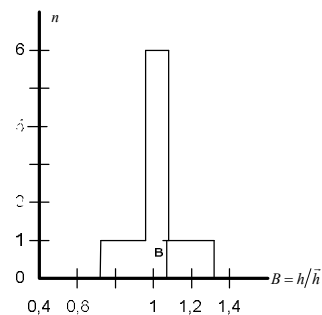




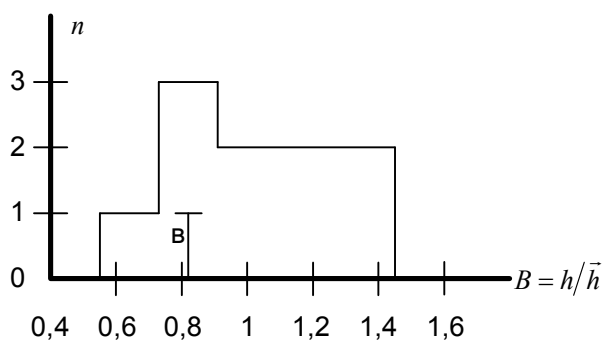
ж) 28.01.07
 $n = 25; \bar{h} = 3,6\text{м}; \bar{B} = 0,995$
шаг – 0,30 центрированный.



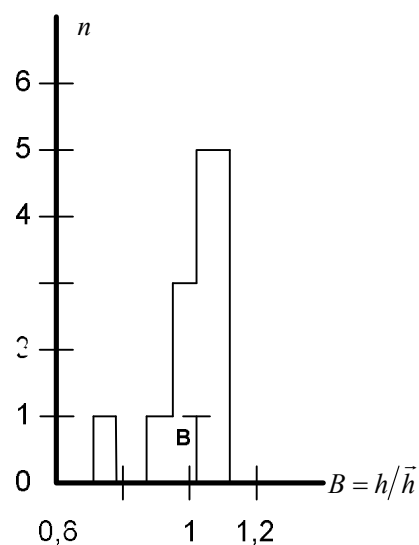
з) 29.01.07
 $n = 10; \bar{h} = 1,9\text{м}; \bar{B} = 1,00$



и) 30.01.07
 $n = 10; \bar{h} = 1,4\text{м}; \bar{B} = 1,02$



к) 05.02.07
 $n = 10; \bar{h} = 0,6\text{м}; \bar{B} = 1,00$
шаг – 0,08 центрированный.



л) 16.02.07
 $n = 10; \bar{h} = 2,9\text{м}; \bar{B} = 0,99$

Рисунок 3 – Плотность распределения нормированных высот волн h/\bar{h} в измерениях ДВВМ (В-визуальное наблюдение)

Однако, объединение всех нормированных наблюдений, представленное в виде гистограмм с различным шагом на рисунок 4 (а-г), показывает довольно близкую к нормальной плотность распределения.

Это может свидетельствовать о том, что в большом объеме наблюдений рельефных волн ДВВМ наиболее часто действительно наблюдаются средние высоты волн \bar{h} .

Рассмотрим полученные распределения длин волн. Гистограмма плотности распределения нормированных длин волн $L = \lambda/\bar{\lambda}$ для всех измерений $n=145$ представлена на рисунке 5. Из нее видно, что для наблюдения выбирались довольно разнообразные по длине волны, но наибольшее количество наблюдений приходится на волны, близкие к средним. Это соответствует выводам, полученным в [3-5].

Таким образом, состоялось первое практическое использование ДВВМ для определения параметров волнения. Полученный опыт позволяет дать некоторые рекомендации для изготовления ДВВМ. Прибор достаточно прост для самостоятельного изготовления, однако, следует избегать применения металлических линеек и ползцов. Металлические линейки хорошо крепятся в ползцах, но сами ползцы быстро изнашиваются.

**ИЗМЕРЕНИЕ ВЫСОТ И ДЛИН ВОЛН ОРТОГОНАЛЬНО-ЛИНЕЕЧНЫМ
ДЛИНО-ВЫСОТО-ВОЛНОМЕРОМ**

Основные рекомендуемые размеры линеек: вертикальная – 30 см, большая горизонтальная – 50 см, малая горизонтальная – 10 см. При этом ширина линеек должна быть небольшой. Вертикальная линейка должна иметь на верхнем конце Т-образное расширение для удобства наведения на горизонт.

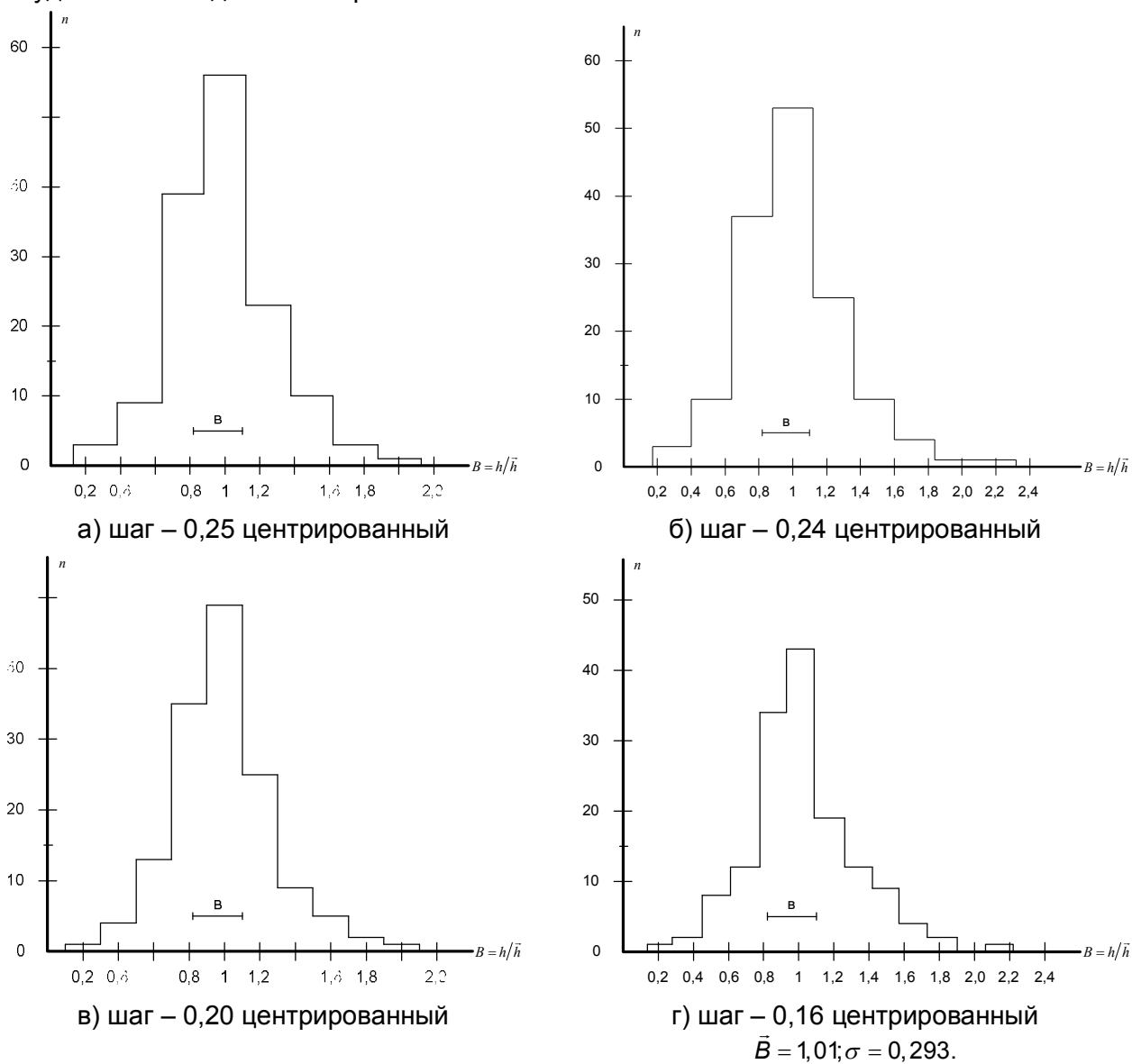


Рисунок 4 – Гистограммы объединенных нормированных h/\bar{h} измеренных высот волн, $n = 144$ (В-диапазон визуальных оценок)

Наибольшую сложность составляли измерения волн высотой до 1 м, поскольку разность отсчетов линеек имела величину около 10 мм. При наблюдениях с мостика волны такой высоты плохо выражены.

Измерения волн выше 3 м усложняется качкой судна, при которой снижается точность наведения вертикальной линейки на горизонт: для наблюдений нужно выбирать место ближе к ДП судна, защищенное от ветра и брызг, и увеличивать количество наблюдений. Во всех случаях количество наблюдений должно быть более 20.

Во избежание пересчета обеспеченности измеренных высот волн, следует стремиться к случайному выбору волн для измерений, обеспечивающих при числе наблюдений более 20 получение средних значений высоты и длины волны.

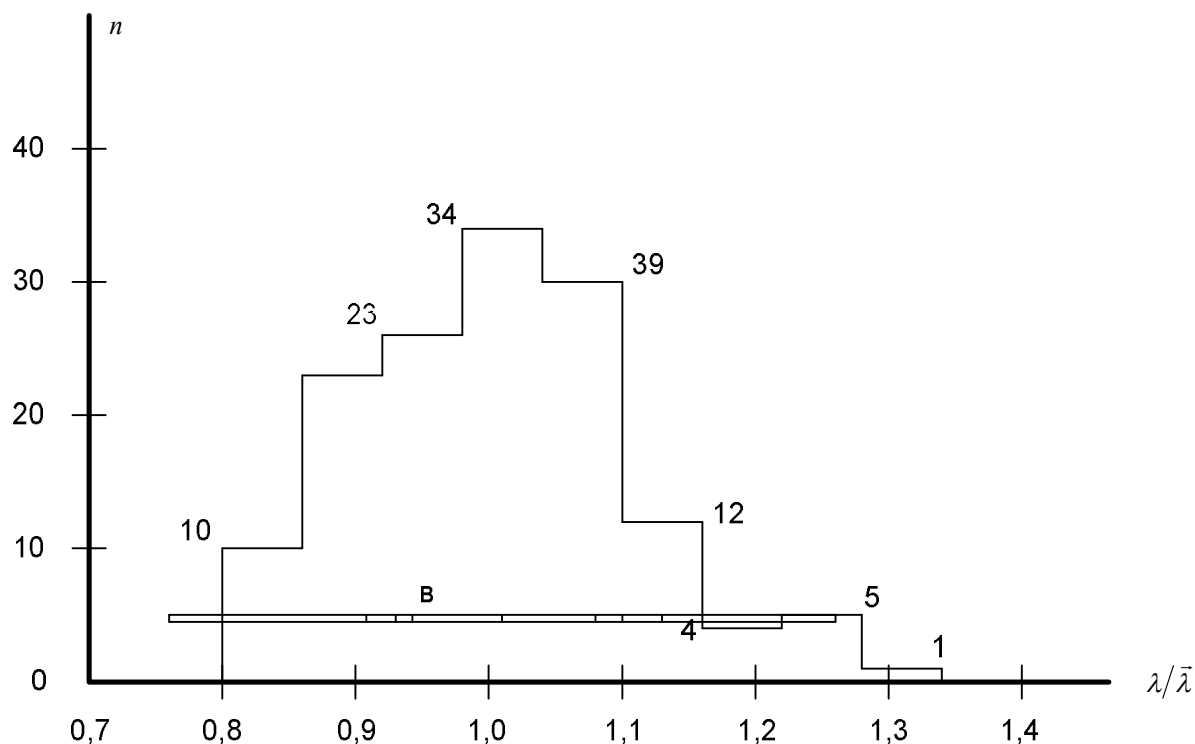


Рисунок 5 – Гистограмма объединенных нормированных $\lambda/\bar{\lambda}$ измеренных длин волн, $n = 145$ (В-диапазон визуальных оценок $n = 145$; $\bar{\lambda} = 1,01$; $\sigma = 0,1$; шаг – 0,06 центрированный)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Сичкарев, В.И.** Ветро-волновые потери скорости судов смешанного плавания [Текст]: / В.И. Сичкарев, А.П. Маркин, В.К. Лубковский // Судовождение-2006: сб. науч. трудов. - Новосибирск: НГАВТ, 2006. -С. 37-55.
- 2 **Сичкарев, В.И.** Способ и прибор для дистанционного определения длины волны на ходу судна [Текст]: / В.И. Сичкарев // Судовождение: управляемость, управление, навигация, обучение. -Новосибирск: НГАВТ, 1999. -С. 3-9.
- 3 **Сичкарев, В.И.** Точность измерения длин волн волномером Сичкарева [Текст]: / В.И. Сичкарев // Судовождение- 2000. -Новосибирск: НГАВТ, 2000. -С. 13-25.
- 4 **Брынский, Д.Е.** Оценки длины волны в групповых наблюдениях ортогонально-линеечным волномером в сопоставлении с другими способами [Текст]: / Д.Е. Брынский, С.В. Касимов, Д.В. Сердюков, В.И. Сичкарев // Судовождение-2000. -Новосибирск: НГАВТ, 2000. -С. 34-43.
- 5 **Сичкарев, В.И.** Статистические характеристики рельефных волн, измеряемых ортогонально-линеечным волномером Сичкарева [Текст]: / В.И. Сичкарев // Судовождение-2002. -Новосибирск: НГАВТ, 2002. -С. 26-33.
- 6 **Сичкарев, В.И.** Совершенствование методов решения задач безопасности плавания на волнении в связи с возможностью непосредственного измерения длин волн с мостика судна ортогонально- линеечным волномером [Текст]: / В.И. Сичкарев, И.Е. Копьев // Судовождение-2002. -Новосибирск: НГАВТ, 2002. -С. 42-49.
- 7 **Сичкарев, В.И.** Длинно-высото-волномер из трех ортогонально расположенных линеек [Текст]: / В.И. Сичкарев // Судовождение- 2004: сб. науч. тр. -Новосибирск: НГАВТ, 2004. -С. 3-10.

УДК 658.62.052.4

ТРЕНАЖЕРНАЯ ПОДГОТОВКА СУДОВОДИТЕЛЕЙ К УПРАВЛЕНИЮ СУДНОМ ПО ЭКС И СНС

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.И. Сичкарев, Г.С. Гридасов

Описан метод использования судоводительского тренажера «Марлот-М» для обучения судоводителей управлению судном по отклонениям от заданной линии пути, вырабатываемым судовой спутниковой навигационной аппаратурой с визуализацией на экране электронной картографической системы.

Радиолокационный тренажер (РЛТ) с Электронной картографической системой (ЭКС) позволяет ставить задачи тренировки судоводителей управлению судном по отклонениям от заданной линии пути (УС по УЗЛП), которые вычисляются по наблюдениям, выполняемым судовой спутниковой навигационной аппаратурой (СНА), и индицируются на экране ЭКС [1].

Для УС по УЗЛП должен быть выполнен ряд предварительных подготовительных действий.

Прежде всего, необходимо сформировать маршрут плавания на картографированном участке акватории. Формирование маршрута осуществляется с помощью функций создания маршрута, присущим данной ЭКС. Маршрут может быть задан произвольно или создан по осям судового хода реальных участков рек.

Затем должно быть задано судно, математическая модель которого имеется в РЛТ, и в формуляре ЭКС установлены его маневренные характеристики, известные по таблице маневренных элементов. Необходимо заранее проверить соответствие матмодели судна в РЛТ фактическим маневренным характеристикам судна.

Это положение представляется достаточно важным, поскольку в настоящее время к адекватности матмоделей судов в РЛТ не предъявляется каких-либо нормативных требований. В последнее время в научных кругах начал обсуждаться вопрос об адекватности матмоделей судов, однако речь пока что идет только о тренажерах по маневрированию и управлению судном.

Между тем, например, проведенная проверка адекватности матмоделей некоторых судов смешанного река-море плавания в РЛТ «МАРЛОТ-М» показала, что имитация судна типа «Сормовский» совершенно не адекватна натуре. При выполнении маневра зигзаг в соответствии с технологией, описанной в Резолюции MSC.137(76) и циркулярном письме MSC/Circ.1053 от 05.12.2002 г. [2], после перекладки руля влево на 10° , отклонении судна влево на 10° и перекладке руля на 10° вправо, судно продолжает поворот влево на 700° (почти 2 круга), и только после этого начинает движение вправо. Хотя величина первого угла зарыскивания при испытаниях на зигзаг $10^\circ/10^\circ$ не должна превышать:

- 10° , если отношение L/V менее 10 с;
- 20° , если отношение L/V составляет 30 с или более;
- $(5+1/2(L/V))^\circ$, если отношение L/V – 10 с или более, но меньше 30 с;

где L – длина судна между перпендикулярами, м;

V – скорость судна на испытаниях, м/с.

Более соответствующими натуре, но не удовлетворяющими требованиям Резолюции MSC.137(76), оказались матмодели судов смешанного плавания типа «Волго-Дон» и «Лена-нефть».

После выставления маршрута и типа судна проводится задание гидрометеорологических условий: истинного ветра и течения. Эти параметры также могут меняться в процессе движения.

Затем на пульте управления судном обучаемый дает ход и в режиме ручного управления рулем производит управление судном, контролируя отклонения судна от заданной линии пути, индицируемое на экране ЭКС.

В процессе обучения фиксируется вся траектория движения судна со всеми отклонениями от ЗЛП, обусловленными как внешними факторами, так и действиями рулевого.

Во время движения судна производится запись координат судна в электронный журнал ЭКС. По имеющимся данным, с помощью функции создания маршрута, автоматически создается фактически пройденный маршрут, пригодный для сравнения с заданным.

Путем последующей статистической обработки отклонений от ЗЛП, выявляются особенности УС по УЗЛП конкретного обучаемого. Анализируются: средняя величина отклонения – δ_{cp} , среднеквадратическое отклонение – $\delta_{кв}$, мода – M_0 , асимметрия – A и эксцесс – E на каждом участке пути с изменяющимися курсовыми углами ветра и течения.

Средняя величина отклонения характеризует, насколько симметричным относительно ЗЛП было управление траекторией судна, особенно под воздействием гидрометеорологических условий.

Среднеквадратическое отклонение характеризует, насколько значительными были колебания отклонений реальной траектории относительно заданной.

Мода характеризует степень реакции обучаемого на величину отклонения, а также его тренированность в учете тенденций в поведении судна.

Асимметрия характеризует, какова реакция обучаемого на боковой снос судна, обусловленный гидрометеорологическими причинами и особенностью поведения судна (судно приводится к ветру или уваливается под ветер).

Эксцесс характеризует, насколько хуже или лучше стандарта (нормального закона распределения) обучаемый научился удерживать судно относительно ЗЛП.

По результатам проводки натурного судна обученным штурманским составом получены следующие эталонные величины для судна дедвейтом 6444 т:

– в грузу против течения $D_{max}=64,4$ м, $D_{min}=-48,8$ м, $D_{cp}=1,2$ м, $D_{cp.кв}=18,6$ м, асимметрия 0,36, эксцесс 0,65, дисперсия 349;

– в грузу по течению $D_{max}=65,0$ м, $D_{min}=-60,6$ м, $D_{cp}=-0,6$ м, $D_{cp.кв}=18,8$ м, асимметрия 0,21, эксцесс 0,09, дисперсия 363.

В процессе обучения, обучаемые должны систематически знакомиться с результатами статистической обработки своего управления для выработки навыка уверенного и точного управления судном.

Программа обучения должна формироваться по принципу «от простого к сложному» с учетом фактической подготовленности обучаемых. Основное содержание программы должно включать следующие темы:

- знакомство с ЭКС: основные функции, возможности, органы управления;
- создание заданного маршрута в ЭКС;
- проверка маршрута на безопасность;
- исполнение маршрута;
- знакомство с РЛТ, органами управления судном, маневренными характеристиками судна по таблице маневренных элементов;
- проводка судна по ЗЛП на прямолинейном участке без воздействия гидрометеорологических факторов;
- проводка судна по ЗЛП в районе точек поворота маршрута;
- проводка судна по ЗЛП на прямолинейном участке с учетом ветра скоростью 8-20 м/с на: встречных КУ $\pm 0 \div 30^\circ$; КУ ветра в скулу $\pm 30 \div 60^\circ$; бокового ветра $\pm 60 \div 120^\circ$; ветра в раковину $\pm 120 \div 150^\circ$; кормовых КУ ветра $\pm 150 \div 180^\circ$;
- проводка судна по ЗЛП на прямолинейном участке с учетом течения различной скорости на различных курсовых углах;
- проводка судна по ЗЛП на прямолинейных участках с учетом совместного действия

ветра и течения, различных скоростей и различных курсовых углов;

– проводка судна по ЗЛП в районе точек поворота маршрута с учетом совместного действия ветра и течения, различных скоростей и различных курсовых углов.

По завершении программы обучения должна проводиться контрольная проводка судна.

По результатам обучения каждый обучаемый должен получить сертификат, содержащий указания, каких окончательных параметров УС по УЗЛП ему удалось добиться, при управлении тренажерным судном в течение одного часа по контрольной круговой ломаной линии пути с ветром 12 м/с и течением 2 узла, отстоящим по направлению 45° от линии ветра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Гридасов, Г.С.** Первые опыты практического управления судном на реке по отклонениям от заданной линии пути и вектору пути, с использованием функций ЭКС [Текст]: / Г.С. Гридасов // Судовождение-2006: сб. науч. тр. -Новосибирск: НГАВТ, 2006. -С. 129-133.

2 **Сборник №21 резолюций ИМО [Текст]:** // -СПб.: ЗАО ЦНИИМФ, 2003. -248 с.

СУДОВОЖДЕНИЕ

УДК 656.6.052

ПОГРЕШНОСТИ РАСЧЁТОВ НАПРАВЛЕНИЯ НА УДАЛЁННЫЙ ОРИЕНТИР ПО КООРДИНАТАМ ПРИЁМНИКА СРНС НАВСТАР GPS GP-270ML

Морской государственный университет им. адм. Г. И. Невельского

Ю.А. Комаровский

С помощью имитационного моделирования исследована зависимость точности расчётов истинных направлений на навигационный ориентир от величины пеленга на этот ориентир при использовании текущих обсервованных координат, получаемых с помощью судового приёмника СРНС Навстар GPS. Показано, что максимальная точность достигается тогда, когда ориентир располагается к северу или к югу от судна.

В современную практику судовождения для решения задач определения поправки курсоуказателей прочно вошли навигационные приёмники спутниковой радионавигационной системы (СРНС) Навстар GPS. Задача точного определения поправки возникает, например, после прихода гирокомпаса в меридиан. Такая задача обязательно выполняется в порту при стоянке судна у причала накануне выхода в очередной рейс. В качестве удалённых ориентиров в этом случае выбираются такие точечные ориентиры, которые нанесены на карту крупного масштаба или на план. В последние годы решение подобных задач значительно упростилось в связи с переходом большинства государств на изготовление морских карт в геодезической системе координат WGS-84.

Для постановки задачи данного исследования обратимся к рисунку 1.

Пусть в точке О находится антенна судового приёмника СРНС Навстар GPS. Координаты точки О (X, Y) известны с высокой точностью, так как получены осреднением n текущих обсервованных координат приёмника за длительное время

$$X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i, \quad Y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varphi_i. \quad (1)$$

Координаты ориентира (φ_0, λ_0), расположенного в точке А, также известны заранее с высокой точностью. Поэтому будем считать угол α_0 истинным направлением на ориентир, так как он нам дан тоже с высокой точностью. В i -й момент времени приёмник определяет свои текущие координаты φ_i, λ_i . Отсюда возникает задача оценки погрешности ε_i , которая создаётся в ситуациях, когда штурман принимает обсервованные координаты φ_i, λ_i в качестве X, Y при расчётах истинного направления на ориентир.

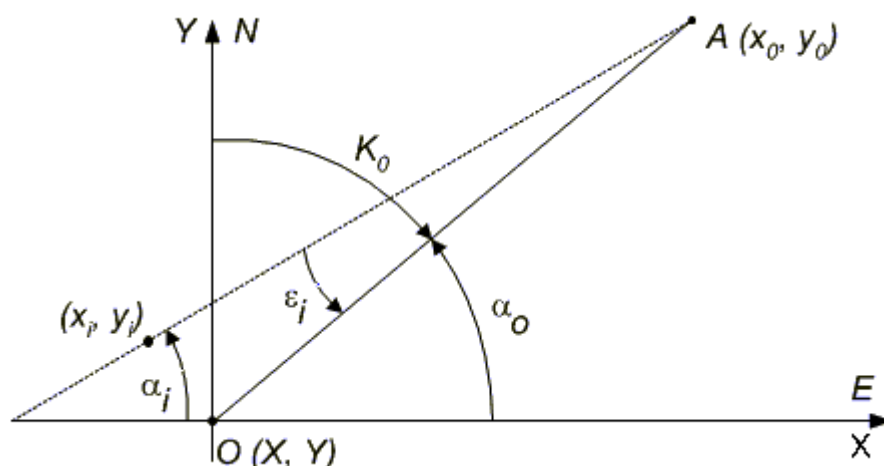


Рисунок 1 – Погрешность направления на удалённый ориентир

Для решения поставленной задачи сначала преобразуем координаты, выраженные в угловой мере, в линейную меру следующим образом

$$x_i = (\lambda_i - X) \times 1'_p; \quad y_i = (\varphi_i - Y) \times 1'_m; \quad x_0 = (\lambda_0 - X) \times 1'_p; \quad y_0 = (\varphi_0 - Y) \times 1'_m, \quad (2)$$

где x_0, y_0 – линейные координаты (в метрах) ориентира относительно начала координат в точке О;

x_i, y_i – линейные координаты (в метрах) текущего обсервованного места судна относительно начала координат в точке О;

φ_0, λ_0 – широта и долгота ориентира;

Y, X – долгота и широта соответственно истинного места установки антенны судового приёмника;

$1'_m, 1'_p$ – длина (в метрах) одной минуты меридиана и одной минуты параллели соответственно в точке установки антенны приёмника СРНС Навстар GPS.

Обозначим через α_i угол, который отсчитывается от оси X до линии, проходящей через точку с текущими координатами x_i, y_i и место ориентира. Величина этого угла определится так

$$\alpha_i = \text{arctg} \left(\frac{y_0 - y_i}{x_0 - x_i} \right). \quad (3)$$

Отсюда, если пренебрегать погрешностью определения места судна (ОМС) с помощью судового приёмника СРНС Навстар GPS, то образующаяся вследствие этого текущая погрешность ε_i расчёта направления на ориентир естественно определится как разность

$$\varepsilon_i = \alpha_i - \alpha_0. \quad (4)$$

Понятно, что абсолютная величина ε_i убывает с увеличением расстояния до ориентира. Однако давно назрела необходимость исследования самого угла ε_i с тем, чтобы на практике ели не исключить её полностью, то существенно уменьшить.

В Приложении 4 к Рекомендациям по организации штурманской службы на судах Минморфлота СССР (РШС-89) учреждается минимальное расстояние до ориентира 200 м. За-

**ПОГРЕШНОСТИ РАСЧЁТОВ НАПРАВЛЕНИЯ НА УДАЛЁННЫЙ ОРИЕНТИР ПО КООРДИНАТАМ
ПРИЁМНИКА СРНС НАВСТАР GPS GP-270ML**

дадимся этим расстоянием в дальнейшем анализе.

Для рассматриваемой ситуации выбор метода исследования пал на имитационное моделирование. В нём случайные величины φ_i и λ_i не генерировались с помощью ЭВМ, а последовательно выбирались из массива реальных наблюдений за работой приёмника СРНС Навстар GPS GP-270ML. Наблюдения были выполнены автором осенью 2006 года в Артёмовской топографо-геодезической экспедиции Приморского аэрогеодезического предприятия. Для данного моделирования были взяты суточные наблюдения с 0 часов до 24 часов UTC 7 октября. Во время наблюдений обсервованные координаты через каждые 2 с записывались на жёсткий диск ноутбука. После устранения сбойных записей и переформатирования получился массив, состоящий из 43187 пар обсервованных широт и долгот. Затем были выполнены расчёты по формулам (1)-(2).

Чтобы оценить влияние величины пеленга с судна на ориентир (K_0) на рассматриваемую погрешность, расчёты по формулам (3)-(4) выполнялись для α_0 от 10° до 90° с шагом 10° . При этом расстояние до ориентира оставалось неизменным и равным 200 м. В результате вычислений было получено 9 массивов погрешностей ε_i , каждый из которых содержал 43287 элементов. Далее каждый из 9 массивов обрабатывался стандартными приёмами математической статистики с целью получения оценок математического ожидания (СР) и среднего квадратического отклонения (СКО), а также медианы (Me), моды (Mo), эксцесса (ε_k), асимметрии (Ac) и размаха (P) варьирования величины ε_i . Результаты обработки сведены в таблицу 1. Следует заметить, что кроме эксцесса и асимметрии размерностью входящих в таблицу 1 величин являются градусы.

Таблица 1 – Результаты вычислений параметров распределения ε_i

Параметр	Пеленг на ориентир (K_0)								
	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
СР	0,0026	0,0015	0,0005	0	-0,0004	-0,0001	0,0005	0,0014	0,0025
СКО	0,5059	0,5388	0,5945	0,6614	0,7294	0,7913	0,8416	0,8769	0,8949
Me	0,035	-0,058	0,032	0,077	0,05	0,022	-0,007	-0,034	-0,063
Mo	-0,24	-0,24	-0,23	-0,22	-0,19	-0,17	-0,14	-0,1	-0,063
Эк	-0,032	0,35	0,701	0,866	0,885	0,834	0,762	0,693	0,638
Ac	0,057	-0,135	-0,301	-0,388	-0,402	-0,372	-0,316	-0,246	-0,171
P	4,085	4,938	5,637	6,162	6,495	6,629	6,743	6,771	6,885

Из таблицы 1 следует, что средние значения погрешностей не одинаковы для разных направлений на ориентир. Ожидалось среднее значение ε_i практически равным нулю независимо от направления на ориентир. Как видно из верхней строки таблицы, среднее значение погрешности равно 0 при пеленгах на ориентир, близких к 40° . Этот факт свидетельствует о том, что у приёмника GP-270ML у распределения обсервованных точек на плоскости существует ось симметрии, совпадающая с этим направлением. Однако это вовсе не означает, что ось симметрии выборки, полученной в течение других суток, будет направлена таким же образом. Понятно, что если устремить количество наблюдений в бесконечность, то средняя погрешность ε_i будет сходиться к нулю. Для штурманов-практиков такое замечание не может послужить руководством к действию.

Более информативным является вторая строка таблицы, в которой содержатся средние квадратические отклонения. Они минимальны на пеленгах, близких к 0° . Это свидетельствует о расположении большей оси фигуры погрешностей приёмника GP-270ML ближе к меридиану. Поэтому погрешности расчётов истинных направлений на ориентиры, расположенные к северу или к югу от судна будут минимальны. Такой вывод подтверждает и характер изменения размаха варьирования погрешностей (нижняя строка таблицы). С увеличением пеленга увеличивается асимметрия распределения погрешностей ε_i . Отрицательное значение асимметрии говорит о том, что левая часть кривой распределения более затянута, не-

жели правая. Интересно, что с увеличением пеленга на ориентир мода сходитя к среднему значению, что свидетельствует о том, что распределение обсервованных точек на плоскости более симметрично относительно меньшей полуоси фигуры погрешностей ОМС.

Острровершинность (экссесс) распределения случайной величины ε_i также зависит от пеленга. Когда ориентир находится по пеленгу 10° , то распределение обладает большей острровершинностью. С увеличением пеленга вершина распределения становится более плоской.

Чтобы иметь представление о характере распределения случайной величины ε_i , на рисунке 2 изображена гистограмма для ориентира, расположенного по пеленгу 10° относительно судна.

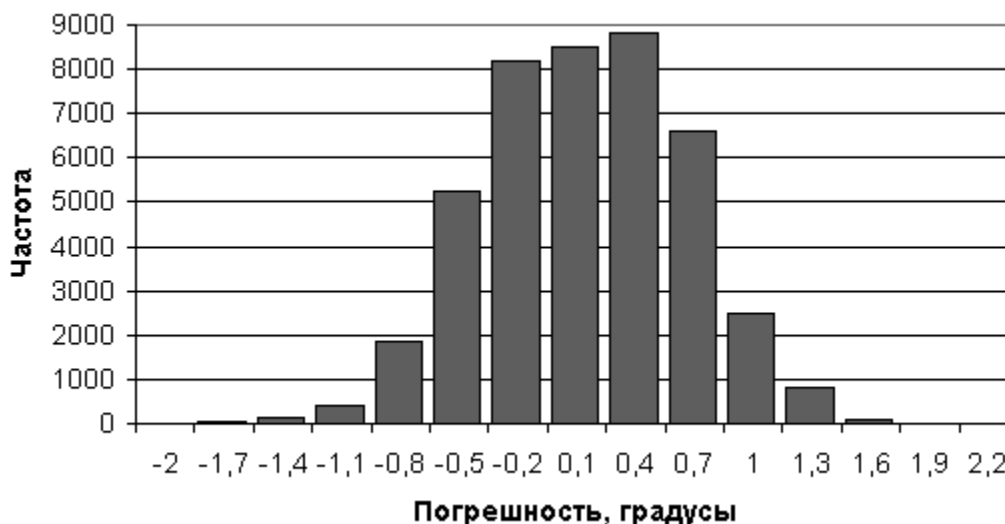


Рисунок 2 – Гистограмма распределения погрешности расчёта истинного направления на ориентир по пеленгу 10°

Анализ гистограммы рисунка 2 не позволяет сделать вывод о присутствии явной симметрии в распределении погрешностей ε_i .

Результаты проделанного исследования можно подытожить следующими выводами.

1 Использование текущих обсервованных координат, получаемых от приёмника СРНС Навстар GPS GP270-ML, не даёт возможности получать достаточную точность расчётов истинного направления на ориентир, расположенный на расстоянии 200 м. Поэтому необходимо продолжить исследования для создания простого метода оценки необходимого расстояния до ориентира при решении задач определения поправки курсоуказателя по удалённому ориентиру.

2 Выполненные расчёты указывают на вероятность присутствия систематических погрешностей при попытках с помощью процедуры обычного осреднения уточнить истинное направления на ориентир.

3 Информация таблицы 1 подтверждает предположение о том, что фигура распределения на плоскости обсервованных координат приёмника СРНС Навстар GPS имеет неправильную форму. Поэтому можно предположить, что параметры распределения таблицы 1 будут изменяться в зависимости от типа судового приёмника.

4 Положение большей полуоси фигуры рассеивания на плоскости обсервованных координат приёмника системы Навстар GPS определяется теснотой корреляционной связи между обсервованными координатами. Так как погрешность ε_i минимальна в направлении, совпадающим с направлением большей полуоси фигуры, то весьма привлекательным выглядит исследование корреляционных связей между обсервованными координатами.

УДК 656.6.052

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ПРИЁМНИКОМ СРНС НАВСТАР GPS SPR-1400

Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского

Ю.А. Комаровский

Обработка 2040120 обсервованных координат позволила оценить удвоенную радиальную среднюю квадратическую погрешность приёмника SPR-1400 в размере 4,0371 м. Обнаружен ранее неизвестный эффект суперпозиции двух отличающихся распределений погрешностей в обсервованных координатах. Выдвинуто предположение о годовых изменениях ориентации фигуры погрешностей обсервованных координат приёмниками СРНС Навстар GPS.

В 2006 году в лабораторию радионавигационных приборов кафедры технических средств судовождения Морского государственного университета им. адм. Г.И. Невельского поступили два приёмника спутниковой радионавигационной системы (СРНС) Навстар GPS SPR-1400. Антенны приёмников были установлены стационарно выше конька крыши главного учебного корпуса так, чтобы никакие конструкции не создавали тень сигналам спутников СРНС Навстар GPS.

Рассматриваемый тип приёмника изготавливается в Республике Корея компанией Sa-myung ENC Co., Ltd. и на Российский рынок поступает впервые. Если в состав комплекта приёмника входит антенна SANB-300 или SAND-220, то такой комплект приёмника способен принимать дифференциальные поправки в формате MAMC. Приёмник имеет стандартный набор функций. Однако обязательно требуемой отдельной клавиши «МОВ» (человек за бортом) на передней панели прибора нет. В описании технико-эксплуатационных характеристик указано дословно «точность определения в море должна быть в пределах 100 м (95%)». Такая характеристика точности определения места судна (ОМС)стораживает, так как другие типы приёмников, изготовленные ранее другими компаниями, продемонстрировали гораздо большую точность. Поэтому было принято решение собрать репрезентативную выборку для вычисления реальных статистических оценок точности ОМС приёмника SPR-1400.

С этой целью к выходу приёмника был подключен ноутбук, на жёсткий диск которого ежесекундно записывались в формате NMEA-0183 следующие предложения: \$GPGGA, \$GPGLL, \$GPRMC, \$GPVTG и \$GPZDA. Эти предложения выводятся пакетом. Наблюдения проводились с 7 ноября 2006 года по 28 декабря 2006 года с перерывами на субботы и воскресенья из-за общего отключения электроэнергии в лаборатории. Затем из всего массива наблюдений был сформирован файл, содержащий только предложения \$GPGGA. В предложении \$GPGGA содержатся следующие данные: время UTC с точностью до 0,01 с; обсервованные широта и долгота с разрядностью 0,0001 угловой минуты; качество обсервации; число использованных для текущей обсервации спутников; величина горизонтального геометрического фактора (HDOP); возвышение в метрах антенны приёмника над поверхностью геоида; и отстояние в метрах поверхности геоида от поверхности референц-эллипсоида выбранной геодезической системы координат. В описываемом эксперименте задавалась система координат WGS-84. Всегда за время наблюдений было зарегистрировано 2040120 предложений \$GPGGA.

Из собранного таким образом статистического материала сначала была сформирована выборка динамических частей широт и долгот. В качестве динамических частей обсервованных координат брались дробные части, так как целые части градусов и минут координат не менялись за время наблюдений. На основе такой выборки рассчитывались частоты зарегистри-

стрированных значений динамических частей координат. Гистограммы полученных частот представлены на рисунках 1 и 2.

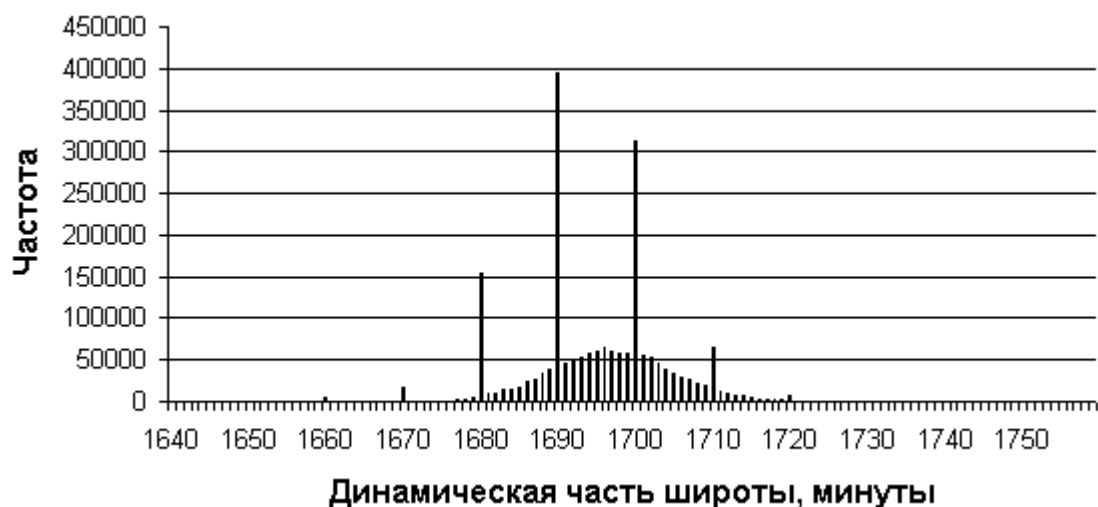


Рисунок 1 – Гистограмма распределения динамической части широты SPR-1400

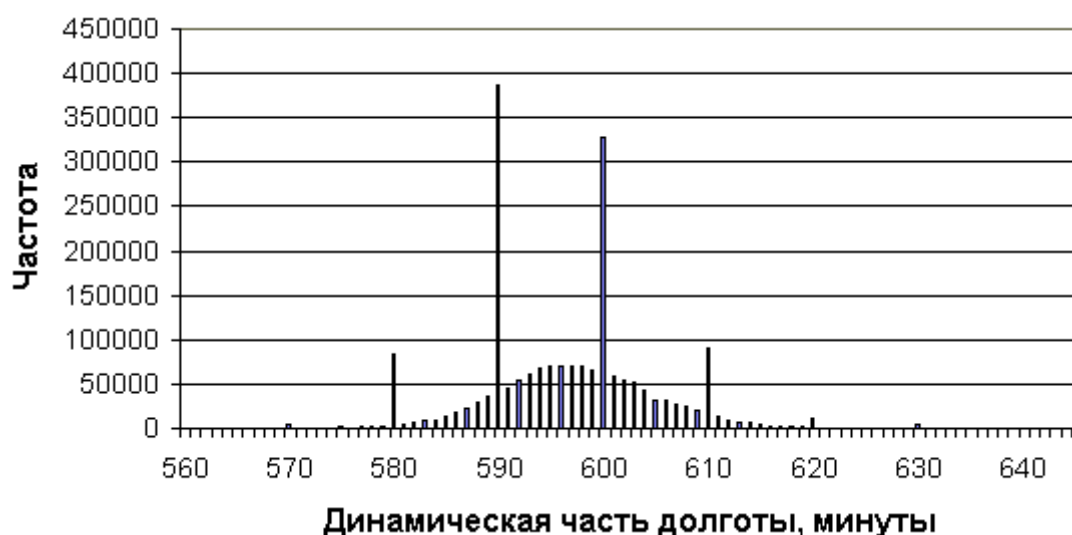


Рисунок 2 – Гистограмма распределения динамической части долготы SPR-1400

На рисунках 1 и 2 значения широты и долготы следует воспринимать так: на рисунке 1 1640 – это 0,1640' и так далее; на рисунке 2 560 – это 0,0560'.

На рисунках видно никогда ранее не наблюдаемое явление, когда значения широты и долготы, кратные 0,001', имеют неожиданно большие значения частот. Проиллюстрируем это явление. Обсервованная широта приёмника SPR-1400 имеет размах варьирования 0,0120'. Доля значений широт, кратных 0,001', от всех значений размаха варьирования составляет 10,08%. На них приходится 46,81% всех наблюдений широты. Доля значений долгот, кратных 0,001', от всех значений варьирования составляет 10,59%. На них приходится 44,58% всех наблюдений долготы. Следовательно, имеет место суперпозиция двух аддитивных распределений широт и долгот. На рисунках видно, что у этих распределений не совпадают средние значения и моды.

Предположим, что наблюдаемые распределения координат образованы суммированием основных распределений, имеющих частоты обсервованных координат на всём интервале зарегистрированных значений широт и долгот, и дополнительных распределений с частотами, имеющих место только для значений, кратных 0,001'. Поэтому возникает задача разде-

**ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ
ПРИЁМНИКОМ СРНС НАВСТАР GPS SPR-1400**

ления этих распределений с тем, чтобы далее проанализировать их статистические характеристики.

В первом приближении, когда виды законов этих распределений ещё не определены, разделение будем выполнять, исходя из вполне естественного предположения о том, что

$$N_j = n_j^{(B)} + n_j^{(A)}, \quad (1)$$

где N_j – частота, с которой встречается в наблюдениях координата j , кратная 0,001’;

$n_j^{(B)}$ – частота основного распределения в координате, кратной 0,001’;

$n_j^{(A)}$ – частота дополнительного распределения в этой же координате.

Частоты N_j можно наблюдать в виде всплесков на гистограммах рисунков 1 и 2.

Следовательно, чтобы получить частоту дополнительного распределения, необходимо

$$n_j^{(A)} = N_j - n_j^{(B)}. \quad (2)$$

Расчёты частот $n_j^{(B)}$ выполним с помощью простой линейной интерполяции по формуле

$$n_j^{(B)} = \left[\frac{n_{j+1}^{(B)} - n_{j-1}^{(B)}}{2} + n_{j-1}^{(B)} \right], \quad (3)$$

где $n_{j-1}^{(B)}, n_{j+1}^{(B)}$ – являются частотами основного распределения для значений координат, стоящих рядом со значением, кратным 0,001’.

По формулам (3) и (2) были рассчитаны частоты основных и дополнительных распределений широт и долгот. Дальнейший анализ показал, что объём выборки основного распределения обсервованной широты составляет 1207574 (59,19%) наблюдений, а долготы – 1254589 (61,49%). Это неравенство можно объяснить различием в размахах варьирования обсервованных широт и долгот.

На рисунках 3 и 4 в качестве иллюстрации представлены гистограммы основного и дополнительного распределений обсервованной широты. Гистограммы основного и дополнительного распределения обсервованной долготы схожи с гистограммами рисунков 3 и 4.

Далее были рассчитаны статистические характеристики общего распределения, а также основного и дополнительного распределений широты и долготы. Трудность этих расчётов заключалась в больших по объёму массивов данных. Поэтому для расчётов средних квадратических отклонений (СКО) использовался следующий приём

$$СКО = \sqrt{M(\varphi^2) - [M(\varphi)]^2}, \quad (4)$$

где M – оператор вычисления точечной оценки математического ожидания на данном массиве зафиксированных широт.

Результаты расчётов сведены в таблицы 2 и 3.



Рисунок 3 – Гистограмма основного распределения широты SPR-1400



Рисунок 4 – Гистограмма дополнительного распределения широты SPR-1400

Таблица 1 – Статистические характеристики распределений широты приёмника SPR-1400

Характеристика	Распределение		
	Общее	Основное	Дополнительное
Минимальная широта	0,1640′	0,1647′	0,1640′
Максимальная широта	0,1759′	0,1759′	0,1750′
Размах варьирования, мин	0,0119′	0,0112′	0,0110′
Размах варьирования, м	22,0338	20,7377	20,3674
Средняя широта, мин	0,1695052′	0,1697062′	0,1692137′
СКО, мин	0,0009037′	0,0008195′	0,0009401′
СКО, м	1,6734	1,5174	1,7407

Таблица 2 – Статистические характеристики распределений долготы приёмника SPR-1400

Характеристика	Распределение		
	Общее	Основное	Дополнительное
Минимальная долгота	0,0560′	0,0562′	0,0560′
Максимальная долгота	0,0645′	0,0645′	0,0640′
Размах варьирования, мин	0,0085′	0,0083′	0,0080′
Размах варьирования, м	11,1229	11,2585	10,8516
Средняя долгота, мин	0,0596500′	0,0597587′	0,0594763′
СКО, мин	0,0008322′	0,0007515′	0,0009157′
СКО, м	1,1288	1,0194	1,2421

Сравнение средних широт распределений позволяет сделать вывод о явном их несовпадении. Средние значения широт основного и дополнительных распределений отличаются в широте Владивостока на 0,0004925′ (0,9119 м), что подтверждает вывод, сделанный выше на основе визуального анализа гистограммы рисунков 1 и 2. Если взять в качестве основы сравнения среднюю широту общего распределения, то относительно него средняя широта основного распределения смещена к северу на 0,3721 м, а средняя широта дополнительного

распределения смещена к югу на 0,5397 м. Разумеется, главным показателем точности определения обсервованной широты служит СКО. Из таблицы следует, что самая высокая точность достигается на основном распределении.

Рассчитанные статистические характеристики распределения обсервованной долготы приёмника СРНС Навстар GPS сведены в таблицу 2.

Точность определения долготы, как это следует из таблицы 2, имеет такой же характер, что и широты. Максимальная точность долготы наблюдается в основном распределении. Как и в случае широты, средние значения распределений долготы не совпадают. Если среднее значение долготы общего распределения принять за точку отсчёта, то относительно её среднее значение основного распределения смещено на 0,1474 м к востоку, а среднее значение дополнительного распределения смещено на 0,2356 м к западу. Значительные отличия наблюдаются и в СКО. Отсюда следует важный вывод о том, что основное распределение координат существенно отличается от дополнительного.

Следовательно, их надо рассматривать как различные, генерируемые приёмником по отличающимся алгоритмам.

Чтобы завершить исследование точности определения обсервованных координат приёмником SPR-1400, необходимо рассмотреть тесноту статистической связи между координатами. Она понадобится для расчёта угла ориентации большей оси фигуры рассеивания координат относительно истинного меридиана. Тесноту связи будем оценивать корреляционным моментом K_{xy} .

$$K_{xy} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)(y - m_y)f(x, y)dx dy, \quad (5)$$

где m_x, m_y – математические ожидания случайных величин x и y ;

$f(x, y)$ – совместная плотность распределения величин x и y .

С помощью корреляционного момента можно на первом этапе анализа однозначно оценить тесноту статистической связи и характер этой связи. Если $K_{xy} = 0$, то связь между случайными величинами отсутствует и нет смысла в дальнейшем рассчитывать коэффициент корреляции. Если $K_{xy} > 0$, то это означает, что с увеличением величины x наблюдается увеличение значений y . По сути корреляционным моментом является математическое ожидание центрированных случайных величин x и y . В нашем случае мы имеем дело с обсервованными широтами и долготами, которые принимаем за случайные величины. Чтобы их сравнивать между собой и устанавливать между ними корреляционную связь, необходимо, во-первых, перейти к линейным единицам их измерения, во-вторых, выполнить операцию центрирования. Поэтому расчёты корреляционного момента выполнялись по следующей схеме.

Сначала были вычислены средние значения обсервованных координат для общего массива данных.

$$\varphi_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varphi_i, \quad \lambda_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i. \quad (6)$$

Затем обсервованные координаты центрировались и преобразовывались в линейную форму. В результате был получен массив, состоящий из случайных величин x_i и y_i , которые получены следующим образом:

$$x_i = (\lambda_{cp} - \lambda_i) \times \left[\frac{a \operatorname{arc} 1'}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}} \cos \varphi \right], \quad (7)$$

$$y_i = (\varphi_{cp} - \varphi_i) \times \left[\frac{a(1 - e^2) \operatorname{arc} 1'}{\sqrt{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^3}} \right], \quad (8)$$

где a – размер большей полуоси референц-эллипсоида WGS-84, м;

e^2 – квадрат первого эксцентриситета референц-эллипсоида WGS-84;

φ – широта в системе геодезических координат WGS-84 места установки антенны

приёмника SPR-1400 во время эксперимента.

Полученные отклонения x_i в метрах распределены вдоль параллели, а y_i – вдоль меридиана. Точность преобразования координат контролировалась осреднением x_i и y_i .

$$x_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad y_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i. \quad (9)$$

В результате расчётов средних значений случайных величин x_i и y_i были получены следующие результаты: $x_{cp} = 1,5429 \times 10^{-8}$ м, $y_{cp} = 3,7476 \times 10^{-8}$ м. Эти результаты указывают на то, центрирование исходных случайных величин φ_i и λ_i проведено достаточно корректно. Затем рассчитывался корреляционный момент по следующей формуле

$$K_{xy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i. \quad (10)$$

Вычисления по формуле (10) дали такой результат: $K_{xy} = 0,012971$ м².

Полученная величина корреляционного момента не даёт основания говорить о присутствии значимой корреляционной связи между обсервованными координатами.

На последнем этапе исследования точности приёмника СРНС Навстар GPS SPR-1400 оценим угол ориентации осей фигуры погрешностей. Искомый угол рассчитывается с участием коэффициента корреляции r_{xy}

$$r_{xy} = \frac{K_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}, \quad (11)$$

где K_{xy} – корреляционный момент;

σ_x – точечная оценка среднего квадратического отклонения случайной величины x_i ;

σ_y – точечная оценка среднего квадратического отклонения случайной величины y_i .

Величинами σ_x и σ_y являются СКО долготы и СКО широты общего распределения координат в метрах таблиц 2 и 1 соответственно. Угол ориентации α определяется по формулам (12)

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2r_{xy}\sigma_x\sigma_y}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2}, \quad \text{или} \quad \alpha = \frac{\operatorname{arc} \operatorname{tg} \left(\frac{2K_{xy}}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2} \right)}{2}. \quad (12)$$

Угол α в формулах (12) отсчитывается от оси X в положительную сторону против хода часовой стрелки (см. рисунок 5). В судовождении направления отсчитываются от северной части меридиана в положительную сторону по ходу часовой стрелки. Следовательно, угол K , отсчитываемый от северной части меридиана до большей оси фигуры погрешностей ОМС, определится как

$$K = 360^\circ (0^\circ) - \alpha. \quad (13)$$

В результате расчётов угол $\alpha = -0,48^\circ$. Отсюда K получился равным $0,48^\circ$. Малое значение угла K указывает на то, что оси фигуры погрешностей ОМС приёмником SPR-1400 во время зимних наблюдений 2006 года практически совпадают с меридианом и параллелью.

Зададимся в качестве фигуры погрешностей ОМС приёмником SPR-1400 стандартным эллипсом, у которого размеры полуосей равны значениям средних квадратических погрешностей (в метрах) определения координат. Стандартный эллипс в предположении гауссовского закона распределения погрешностей накрывает истинное место судна с вероятностью 0,393. Размеры полуосей стандартного эллипса погрешностей рассчитываются следующим образом

$$a = \frac{\sigma_y}{\cos K}, \quad b = \frac{\sigma_x}{\cos K}, \quad (13)$$

где σ_x, σ_y – являются СКО долготы и СКО широты общего распределения координат в мет-

**ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ
ПРИЁМНИКОМ СРНС НАВСТАР GPS SPR-1400**

рах таблиц 2 и 1 соответственно.

В результате вычислений размеры полуосей стандартного эллипса погрешностей, соответствующего общему распределению погрешностей ОМС приёмником SPR-1400, получили следующие значения: $a = 1,6734$ м, $b = 1,1288$ м.

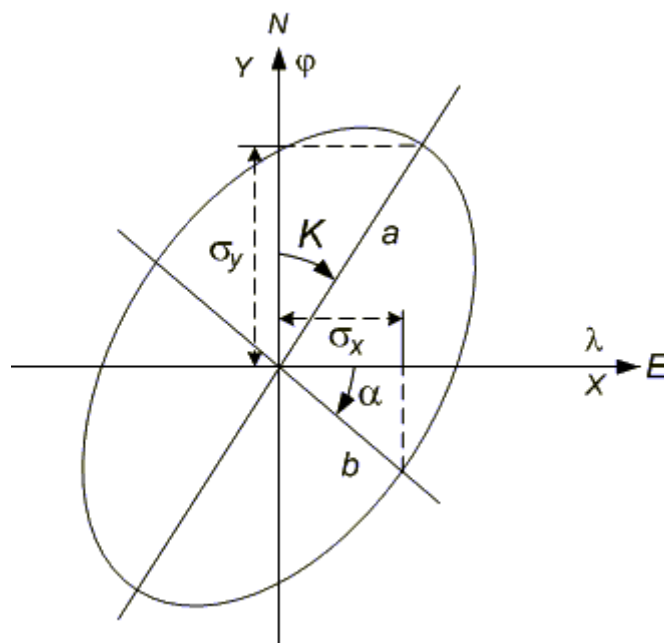


Рисунок 5 – Стандартный эллипс погрешностей

Обозначим через M_0 радиальную среднюю квадратическую погрешность ОМС.

$M_0 = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$. С учётом полученных величин σ_x и σ_y для общего распределения $M_0 = 2,0185$ м. Для вероятности 0,95 удвоенная радиальная средняя квадратическая погрешность будет равна 4,0371 м.

Результаты выполненных исследований и расчётов точности определения координат приёмником СРНС Навстар GPS SPR-1400 дают основание сделать следующие выводы и предложения.

1 В ходе обработки накопленной выборки, состоящей из 2040120 пар обсервованных координат выяснилось, что удвоенная радиальная средняя квадратическая погрешность ОМС приёмником SPR-1400 составляет 4,0371 м. Это во много раз меньше, нежели 100 м, объявленные в его технико-эксплуатационных характеристиках. Остаются непонятными причины, по которым изготовитель существенно занижил точность ОМС своего изделия.

2 Уместно сравнить размеры полуосей стандартного эллипса погрешностей аналогичного приёмника GP-37 компании Fugino с полученными размерами полуосей такого же эллипса приёмника SPR-1400. По результатам обработки наблюдений, выполненных автором в 2005 году в Уссурийской астрофизической обсерватории, у приёмника GP-37 $a=1,6737$ м, $b=1,3051$ м. Как было указано выше, у приёмника SPR-1400 $a=1,6734$ м, $b=1,1288$ м. Нельзя не заметить удивительное совпадение размеров больших полуосей эллипсов погрешностей ОМС у этих приёмников. Более того, надо отметить более высокую точность определения долготы приёмником SPR-1400 по сравнению с приёмником GP-37.

3 В результате обработки собранного статистического материала был обнаружен ранее неизвестный эффект суперпозиции двух отличающихся законов распределения погрешностей обсервованных координат. Причём одно из распределений, названное автором основным, характеризуется следующими СКО: $\sigma_y = 1,5174$ м, $\sigma_x = 1,0194$ м. Это значительно меньше аналогичных параметров общего распределения и, тем более, меньше величин параметров дополнительного распределения.

4 Представляется перспективным исследование, направленное на создание алгоритма вторичной обработки обсервованных координат, получаемых от SPR-1400, чтобы в конечном итоге в масштабе реального времени отфильтровывать координаты, относящиеся к дополнительному распределению. Таким способом можно существенно повысить точность ОМС приёмником SPR-1400.

5 Обнаруженная точность ОМС с помощью приёмника СРНС Навстар GPS SPR-1400 (4,0371 м) гораздо меньше по сравнению с гарантированной точностью (10 м) ОМС по сигналам дифференциальных станций (DGPS). Поэтому после отмены режима избирательной доступности и появления на рынке таких приёмников, как GP-37 и SPR-1400, актуальность и эффективность функционирования сети станций IALA дифференциальной подсистемы СРНС Навстар GPS становится сомнительной.

6 Во время летних наблюдений прошлых лет для GP-37 был получен угол K , равный $20,8^\circ$. Во время осенних наблюдений $K=10,7^\circ$. Зимний эксперимент с приёмником SPR-1400 позволил определить K , равным $0,48^\circ$. Вполне возможно, что большая ось фигуры погрешностей ОМС приёмниками СРНС Навстар GPS совершает годовые колебания из-за процессов, происходящих в трансноосферном канале распространения сигналов спутников.

СУДОВОЖДЕНИЕ

УДК 656.62.052.5:551.556

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕТРО-ВОЛНОВЫХ ПОТЕРЬ СКОРОСТИ СУДОВ СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ОРТОГОНАЛЬНО-ЛИНЕЕЧНОГО ВОЛНОМЕРА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.К. Лубковский

На основании обширных натуральных наблюдений на судах смешанного плавания типа «Сибирский» и «Ленанефть» в различных морях, показана применимость формулы ветро-волновых потерь скорости (ЦНИИМФ) в диапазоне параметров, характерных для судов смешанного плавания, и измерения параметров волнения ортогонально-линеечным волномером.

С расширением доли эксплуатации судов смешанного плавания в морских условиях перед судоводителями встали задачи определения основных эксплуатационных характеристик этих судов на волнении. Особая значимость этой задачи обусловлена имеющимися ограничениями ССП на гидрометеорологические условия плавания и на удаление от портов-убежищ. В связи с этим представляет значительный интерес определение ветро-волновых потерь скорости ССП, поскольку судоводитель должен иметь обоснованное представление о реальном запасе времени для ухода в порт-убежище в случае получения неблагоприятного прогноза или фактического ухудшения погоды.

Кроме того, знание скорости судна на волнении необходимо для планирования рейса, а также для оптимизации маршрута плавания (выбора наивыгоднейшего пути) в прогнозируемых гидрометеороусловиях.

В зависимости от существующих методов оценки ветро-волновых потерь скорости [1-4] функция ветро-волновой потери ΔV содержит различные параметры волнения, ветра, судна, аэродинамических характеристик судна, которые зачастую могут быть получены только в момент нахождения судна в определенном ветро-волновом поле. А, значит, исключают возможность прогнозирования.

В связи с этим, со стороны судоводителя на вид функциональной зависимости накладывается такое ограничение: зависимость ветро-волновой потери скорости должна при достаточной точности содержать минимум входных параметров, которые в свою очередь могут

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕТРО-ВОЛНОВЫХ ПОТЕРЬ СКОРОСТИ СУДОВ СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ
С ПОМОЩЬЮ ОРТОГОНАЛЬНО-ЛИНЕЙЧНОГО ВОЛНОМЕРА**

быть заблаговременно получены. Этим ограничениям в известной степени удовлетворяет зависимость, предложенная Хохловым П.М (ЦНИИМФ) [3-5] для морских судов, с учетом которой скорость судна на волнении V_B равна

$$V_B = V_{TB} - (0,745h - 0,257qh) \cdot (1 - 1,35 \cdot 10^{-6} DV_{TB}), \quad (1)$$

где V_{TB} – скорость судна на тихой воде соответствующая фактическому водоизмещению судна и фактическим оборотам винтов, узлы;

h – высота волн 3% обеспеченности, м;

q – курсовой угол волны, рад;

D – фактическое водоизмещение судна в рейсе, т.

При этом волновая потеря скорости судна может быть заблаговременно вычислена и представлена на судне, например, в виде полярной диаграммы.

Для оценки применимости формулы [1] для судов смешанного плавания использовался метод «поставленного наблюдения». Суть метода заключается в натурных наблюдениях и точных измерениях параметров используемых в формуле [1], и сопоставление потерь скоростей: расчетной $\Delta V_{расч}$ и фактической ΔV_0 – полученной графически в результате высокоточной обсервации по СНС «NAVSTAR». За исходную скорость принималась скорость судна на тихой воде. В конечном итоге сравнивались ветро-волновые потери скорости расчетной и фактической при движении судна в различных гидрометеорологических условиях.

В период с 2004-2006 гг. в морях Дальнего Востока на судах смешанного плавания типа «Сибирский» (сухогруз) и «Ленанефть» (танкер) были выполнены обширные натурные наблюдения ветро-волновых потерь скорости. Высокоточное счисление производилось от предыдущей обсервации методом аналитического счисления.

За начало счисления принимали первую обсервованную точку $A(\varphi_{01}; \lambda_{01})$, рисунок 1.

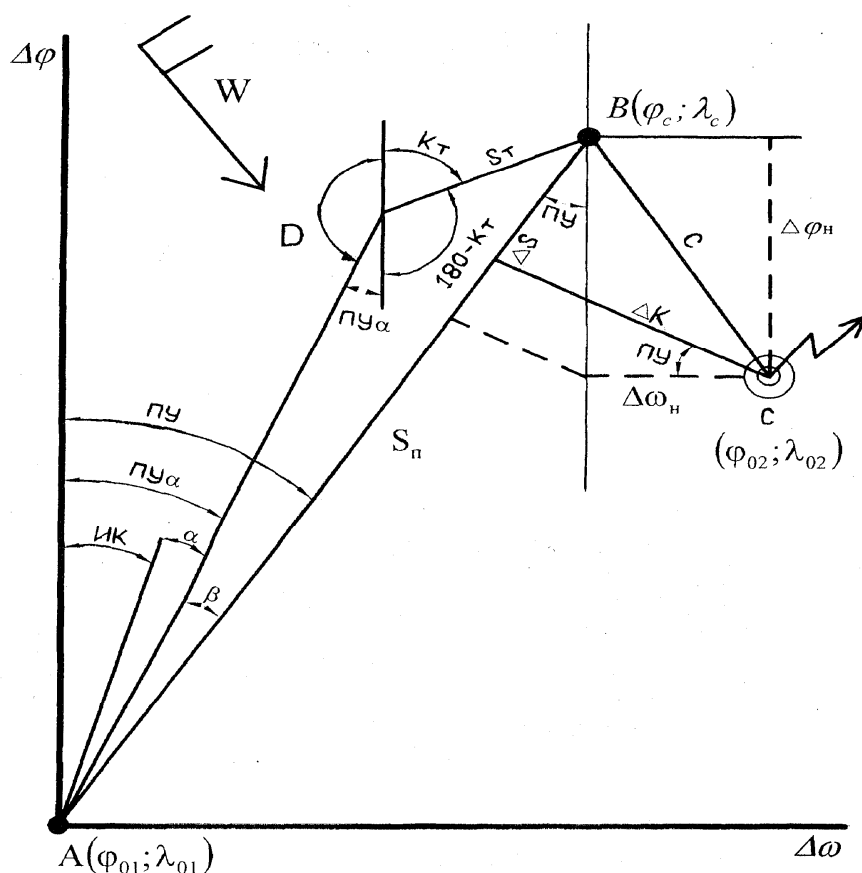


Рисунок 1 – Определение ветро-волновых потерь скорости судна

Пусть судно двигалось истинным курсом ПК со скоростью $V_c = V_{об}$ и испытывало действие кажущегося ветра $\vec{W}_k (K_w, W_k)$ и течения $\vec{V}_T (K_T, V_T)$. Путевой угол судна с учетом дрейфа

$$ПУ_\alpha = ИК + \alpha, \quad (2)$$

где α – угол дрейфа судна,

$$\alpha = 1,7 \left(\frac{W_k}{V_c} \right)^2 \cdot \sin(K_w - ИК).$$

За время между наблюдениями ΔT путь судна S_C по направлению $ПУ_\alpha$ и перемещение судна течением S_T составил

$$S_C = V_C \cdot \Delta T; \quad S_T = V_T \cdot \Delta T. \quad (3)$$

В проекциях на координатные оси эти величины можно представить

$$\begin{aligned} \Delta\varphi_C &= S_C \cdot \cos ПУ_\alpha; & \Delta\varphi_T &= S_T \cdot \cos K_T; \\ \Delta\omega_C &= S_C \cdot \sin ПУ_\alpha; & \Delta\omega_T &= S_T \cdot \sin K_T. \end{aligned} \quad (4)$$

Суммарные разность широт и отстояние движения судна по счислению за время ΔT , с учетом дрейфа и течения:

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_C + \Delta\varphi_T; \quad (5)$$

$$\Delta\omega = \Delta\omega_C + \Delta\omega_T,$$

а счисляемые координаты судна на момент второй наблюдения

$$\varphi_{c2} = \varphi_{c1} + \Delta\varphi; \quad (6)$$

$$\varphi_{cp1} = \frac{\varphi_{c1} + \varphi_{c2}}{2} = \frac{2\varphi_{c1} + \Delta\varphi}{2}; \quad (7)$$

$$\Delta\lambda = \frac{\Delta\omega}{\cos \varphi_{cp1}}; \quad (8)$$

$$\lambda_{c2} = \lambda_{c1} + \Delta\lambda. \quad (9)$$

Таким образом, счисляемые координаты точки $B(\varphi_{c2}; \lambda_{c2})$.

Для определения угла сноса течением β рассмотрим $\triangle ABD$. В этом треугольнике AB – это путь судна S_n за время ΔT .

$$S_n = \sqrt{\Delta\varphi^2 + \Delta\omega^2}, \quad (10)$$

а угол D

$$\angle D = 180^\circ - K_T + ПУ_\alpha = 180^\circ - (K_T - ПУ_\alpha). \quad (11)$$

По теореме синусов

$$\frac{S_T}{\sin \beta} = \frac{S_n}{\sin D},$$

откуда

$$\sin \beta = \frac{S_T}{S_n} \cdot \sin D; \quad \beta = \arcsin \left(\frac{S_T}{S_n} \cdot \sin(K_T - ПУ_\alpha) \right), \quad (12)$$

а путевой угол

$$ПУ = ПУ_\alpha + \beta = ИК + \alpha + \beta. \quad (13)$$

Невязка C между обсервованной точкой $C(\varphi_{o2}; \lambda_{o2})$ и счисляемой точкой $B(\varphi_{c2}; \lambda_{c2})$ определялась через разность широт и отстояние обсервованной точки по отношению к счисляемой

$$\Delta\varphi_H = \Delta\varphi_{o2} - \Delta\varphi_{c2}; \quad (14)$$

$$\Delta\lambda_H = \Delta\lambda_{o2} - \Delta\lambda_{c2}; \quad (15)$$

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕТРО-ВОЛНОВЫХ ПОТЕРЬ СКОРОСТИ СУДОВ СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ
С ПОМОЩЬЮ ОРТОГОНАЛЬНО-ЛИНЕЙНОГО ВОЛНОМЕРА**

$$\varphi_{cp2} = \frac{\varphi_{c2} + \varphi_{o2}}{2}; \quad (16)$$

$$\Delta\omega_H = \Delta\lambda_H \cdot \cos \varphi_{c2}, \quad (17)$$

после чего модуль невязки

$$C = \sqrt{\Delta\varphi_H^2 + \Delta\omega_H^2}. \quad (18)$$

Аналитическое определение направления невязки K_H зависит от соотношения знаков $\Delta\varphi_H$, $\Delta\omega_H$, то есть от четверти горизонта, в которой располагается obserвованная точка относительно счислимой.

$$K = -\operatorname{arctg} \frac{\Delta\varphi}{\Delta\omega} + \begin{cases} 90^\circ & \text{при } \Delta\omega > 0; \\ 270^\circ & \text{при } \Delta\omega < 0. \end{cases} \quad (19)$$

Таким образом, была получена невязка $C(K_H, C)$.

Проекция ΔS невязки на счислимую линию пути определялась через разность широт и отстояние невязки (см. рисунок 1)

$$\Delta S = \Delta\varphi_H \cdot \cos ПУ - \Delta W_H \cdot \sin ПУ; \quad (20)$$

$$\Delta K = \Delta\varphi_H \cdot \sin ПУ + \Delta W_H \cdot \cos ПУ,$$

после чего фактическая ветро-волновая потеря скорости по obserвации

$$\Delta V_0 = \frac{\Delta S}{\Delta T}. \quad (21)$$

Для оценки применимости формулы (1) необходимо произвести расчет по ней ветро-волновой потери скорости

$$\Delta V_{расч} = V_B - V_{ТВ}; \quad V_{ТВ} = V_{об}. \quad (22)$$

Для тех же условий, которые были приняты при расчете ΔV_0 , также определялось расхождение

$$\Delta = \Delta V_0 - \Delta V_{расч}, \quad (23)$$

которое показывает различие в оценке ветро-волновой потери скорости по (1) и в натуральных условиях по (21), то есть достоверность (1) для данного типа судна в данных ветро-волновых условиях.

Анализ таблиц обработки результатов наблюдений потерь скорости в сопоставлении с формулой Хохлова П.М. показал ее применимость для ССП. Расхождение между фактической и расчетной ветро-волновой потерей составляет $\pm 0,1$ узла, что вполне приемлемо для практики.

Однако, при статистической проверке значений Δ по обоим судам, путем построения гистограмм распределения Δ с различным шагом h , прослеживается несогласие величины Δ с нормальным распределением, а также обнаруживается бимодальность распределения. Это говорит о неоднородности исходной информации или о существовании некоторых неустановленных факторов, влияющих на статистические результаты. Для проверки однородности информации была произведена обработка плотности распределения отклонений Δ для сухогрузов типа «Сибирский» и танкера «Ленанефть» отдельно, с построением их гистограмм. Построены таблицы интервального центрированного распределения Δ с различным шагом, произведено сравнение его с теоретическим нормальным распределением, для чего были вычислены интервальные вероятности нормального распределения.

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{(x-M)^2}{(2\sigma)^2}\right) dx, \quad (24)$$

где M, σ – математическое описание случайной величины x ее среднее квадратическое отклонение.

Сравним полученные из наблюдений и вычисленное распределение с помощью критерия χ^2 Пирсона по каждому судну. В итоге получаем: $x^2 > \chi^2$ даже с ничтожно малой веро-

ятностью $P = 0,001$ для «Сибирского» и с $P = 5\%$ для ССП «Ленанефть», то есть распределение Δ для данного типа судов не является нормальным. Проверка полученного распределения Δ по критерию согласия распределения Колмогорова

$$H = \max(H^+, H^-), \quad (25)$$

$$H^+ = \max\left[\frac{j}{N} - W(\chi_j)\right] \text{ и } H^- = \max\left[(\chi_j) - \frac{j-1}{N}\right], \quad 1 \leq j \leq N$$

где $W(\chi_j)$ – предполагаемое распределение Колмогорова, показало что

$$Z_k(N, B) = Z(9; 0,99) = 0,5.$$

Следовательно с вероятностью $P = 0,99$ $H > Z_k$ и по критерию Колмогорова гипотеза о нормальном распределении Δ отвергается.

Таким образом, анализ отклонения Δ отдельно для каждого судна не подтвердил нормальности частных распределений, поскольку в них также была выявлена бимодальность плотности распределения Δ , которая привела к отсутствию нормальности распределения. Это говорит о действии одних и тех же независимых случайных процессов на ССП. В связи с этим, необходимо выдвинуть иные гипотезы, объясняющие факт бимодальности распределения Δ . Можно допустить наличие ошибок в определении параметров течений и высот волн, которые могут влиять на бимодальность распределения Δ .

Для проверки этой гипотезы в осенне-зимний период 2006-2007 гг. на морском судне типа «Углегорск» были проведены поставленные наблюдения по определению ветро-волновых потерь с замерами высот волн инструментальным способом. Для измерения высоты волны был использован ортогонально-линейный волномер Сичкарева В.И. [6-11] В результате статистического анализа полученных данных ветро-волновых потерь и построения гистограммы, рисунок 2, в распределении величины Δ бимодальность не наблюдается.

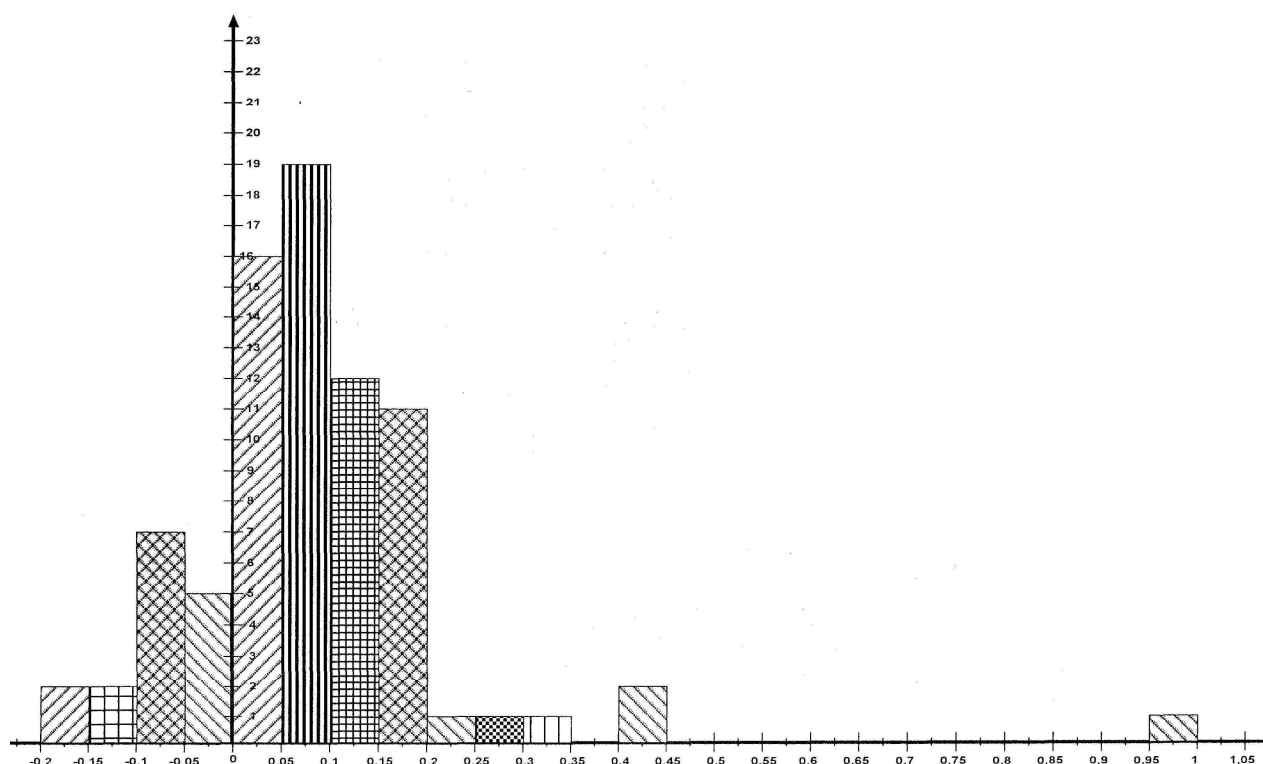


Рисунок 2 – Распределение исходного вариационного ряда Δ для судна типа «Углегорск»

Это дает основание утверждать, что несоответствие нормальному распределению величины Δ происходит из-за глазомерного определения высоты волны.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕТОРО-ВОЛНОВЫХ ПОТЕРЬ СКОРОСТИ СУДОВ СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ
С ПОМОЩЬЮ ОРТОГОНАЛЬНО-ЛИНЕЕЧНОГО ВОЛНОМЕРА**

Задаваясь доверительной вероятностью $P = \Phi_{(z)} = 0,99$, получим доверительный интервал матожидания Δ

$$\bar{\Delta} \pm Z_p \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 0,0096 \pm 2,58 \frac{0,0579}{\sqrt{199}} = 0,0096 \pm 0,0106,$$

и тогда действительная потеря скорости ССП на волнении составит

$$\Delta V_0 = \Delta V_{\text{расч}} + [\Delta] = \Delta V_{\text{расч}-0,001}^{+0,02} \text{ узла.}$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Сичкарев, В.И.** Использование в судовождении гидрометеорологической информации [Текст]: / В.И. Сичкарев // -Новосибирск: НГАВТ, 2000. -176 с.

2 **Абузьяров, З.К.** Морское волнение и его прогнозирование [Текст]: / З.К. Абузьяров // - Л.: Гидрометеиздат, 1981. -167 с.

3 **Шапаев, В.М.** Гидрометеорологические условия и мореплавание [Текст]: / В.М. Шапаев // -М.:Транспорт, 1975. -248 с.

4 **Рекомендации по обеспечению безопасности плавания судов в осенне-зимний период и в штормовых условиях (РОБПС-77)** [Текст]: / ММФ СССР // -М.: Рекламинформбюро, 1977. -60 с.

5 **Грузинский, П.П.** Аварийно-спасательное дело и борьба за живучесть судна [Текст]: / П.П. Грузинский, П.М. Хохлов // -М.: Транспорт, 1977. -288 с.

6 **Сичкарев, В.И.** Способ и прибор для дистанционного определения длины волны на ходу судна [Текст]: / В.И. Сичкарев // Судовождение: управляемость, управление, навигация, обучение. -Новосибирск: НГАВТ, 1999. -С. 3-9.

7 **Сичкарев, В.И.** Точность измерения длин волн волномером Сичкарева [Текст]: / В.И. Сичкарев // Судовождение-2000. -Новосибирск: НГАВТ, 2000. -С. 13-25.

8 **Брынский, Д.Е.** Оценки длины волны в групповых наблюдениях ортогонально-линеечным волномером в сопоставлении с другими способами [Текст]: / Д.Е. Брынский, С.В. Касимов, Д.В. Сердюков, В.И. Сичкарев // Судовождение-2000. -Новосибирск: НГАВТ, 2000. -С. 34-43.

9 **Сичкарев, В.И.** Статистические характеристики рельефных волн, измеряемых ортогонально-линеечным волномером Сичкарева [Текст]: / В.И. Сичкарев // Судовождение-2002. -Новосибирск: НГАВТ, 2002. -С. 26-33.

10 **Сичкарев В.И.** Совершенствование методов решения задач безопасности плавания на волнении в связи с возможностью непосредственного измерения длин волн с мостика судна ортогонально-линеечным волномером [Текст]: / В.И. Сичкарев, И.Е. Копьев // Судовождение-2002. -Новосибирск: НГАВТ, 2002. -С. 42-49.

11 **Сичкарев, В.И.** Длино-высото-волномер из трех ортогонально расположенных линеек [Текст]: / В.И. Сичкарев // Судовождение-2004: сб. науч. трудов. –Новосибирск: НГАВТ, 2004. -С. 3-10.

УДК 656.62

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ ТОРМОЗНЫХ ЩИТОВ С УЧЕТОМ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВОРОТА РЕКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАНЕВРА АКТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ СУДНА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Д.И. Бобровский

Проведены расчеты по определению суммарных площадей тормозных щитов для ряда судов смешанного река-море плавания.

В процессе эксплуатации суда смешанного река – море плавания совершают переходы в различных условиях: кроме морских рейсов таким судам часто приходится заходить в реки, характеризующиеся той, или иной степенью извилистости. При движении судна по таким участкам может возникнуть необходимость применения маневра активного торможения для экстренной остановки судна, например, в случае внезапного отказа рулевого устройства. В этой ситуации обеспечить безопасность судна можно не только регулированием скорости входа в поворот, но и применением дополнительных средств торможения на судне. В качестве критерия допустимого пути активного торможения может быть использована величина [2]

$$l = \sqrt{Rb + \frac{b^2}{4}}, \quad (1)$$

где R – радиус кривизны поворота, м;
 b – ширина фарватера на повороте, м.

Таким образом, если путь активного торможения судна оказывается больше величины l , возникает необходимость применения дополнительных средств экстренного торможения, в частности тормозных щитов.

Для определения минимальной площади тормозных щитов используем упрощенный метод расчета пути активного торможения В.Г. Павленко [1]

$$\left. \begin{aligned} S_{\text{акт.торм.}} &= ct_{\text{акт.торм.}} + \mu_2 V_{0\infty} t_1 \left(1 - F_2 \frac{t_1}{t_{\text{св.торм.}}} \right) + G_2 \frac{E}{V_{0\infty}^2} (v_1^2 - c^2) \\ t_{\text{акт.торм.}} &= t_1 + G_1 \frac{E}{V_{0\infty}^2} (v_1 + c) \\ v_1 &= \mu_2 V_{0\infty} \frac{1}{1 + F_1 \frac{t_1}{t_{\text{св.торм.}}}} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

На современных судах смешанного река – море плавания время реверса движителей с переднего на задний ход t_1 оказывается много меньше, чем время свободного торможения $t_{\text{св.торм.}}$. Поэтому справедливо допущение $\frac{t_1}{t_{\text{св.торм.}}} \rightarrow 0$. Отсюда следует, что

$\left(1 - F_2 \frac{t_1}{t_{\text{св.торм.}}} \right) \rightarrow 1$ и $v_1 \rightarrow \mu_2 V_{0\infty}$. Принимая последние допущения и полагая путь активного торможения судна равным l , получаем следующее выражение

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ ТОРМОЗНЫХ ЩИТОВ С УЧЕТОМ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВОРОТА РЕКИ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАНЕВРА АКТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ СУДНА**

$$I = c \left[t_1 + \frac{G_1 E}{v_{0\infty}^2} (\mu_2 v_{0\infty} + c) \right] + \mu_2 v_{0\infty} t_1 + \frac{G_2 E}{v_{0\infty}^2} (\mu_2^2 v_{0\infty}^2 - c^2). \quad (3)$$

Разрешая данное уравнение относительно модуля инерционности E , получаем

$$\frac{D_c}{gR'_{I\infty}} = \frac{v_{0\infty}^2 (I - ct_1 - \mu_2 v_{0\infty} t_1)}{cG_1 (\mu_2 v_{0\infty} + c) + G_2 (\mu_2^2 v_{0\infty}^2 - c^2)}.$$

Отсюда находим, каким должно быть приведенное сопротивление корпуса, чтобы при маневре активного торможения судно было остановлено на границе судового хода

$$R'_{I\infty} = \frac{D_c [cG_1 (\mu_2 v_{0\infty} + c) + G_2 (\mu_2^2 v_{0\infty}^2 - c^2)]}{gv_{0\infty}^2 (I - ct_1 - \mu_2 v_{0\infty} t_1)}. \quad (4)$$

Согласно [1] приведенное сопротивление корпуса судна равно

$$R'_\infty = (\zeta_s + \zeta_w) \frac{\rho}{2} \Omega. \quad (5)$$

Используя два последних выражения, получим величину добавочного приведенного сопротивления необходимого для остановки судна на границе судового хода

$$\left. \begin{aligned} \Delta R' &= R'_{I\infty} - R'_\infty \\ \Delta R' &= \frac{D_c [cG_1 (\mu_2 v_{0\infty} + c) + G_2 (\mu_2^2 v_{0\infty}^2 - c^2)]}{gv_{0\infty}^2 (I - ct_1 - \mu_2 v_{0\infty} t_1)} - (\zeta_s + \zeta_w) \frac{\rho}{2} \Omega \end{aligned} \right\}. \quad (6)$$

Полученная величина $\Delta R'$ и является минимально необходимым приведенным сопротивлением тормозных щитов.

После натурных испытаний т/х «Искатель» под руководством Д.К. Земляновского НИИВ-Том была получена формула приведенного сопротивления тормозных щитов [1]

$$R'_{щ} = C_x \frac{\rho}{2} S_{щ}, \quad (7)$$

где C_x – коэффициент сопротивления щитов, определяемый следующим образом,

$$C_x = 1,16 \sin 1,085\alpha; \quad (8)$$

α – угол раскрытия тормозных щитов, рад. По данным тех же испытаний, оптимальный угол раскрытия щитов составляет около 80° .

Используя формулы (6) и (7), получаем

$$\begin{aligned} R'_{щ} &= \Delta R'; \\ C_x \frac{\rho}{2} S_{щ} &= \Delta R'; \\ S_{щ} &= \frac{2}{C_x \rho} \Delta R'. \end{aligned}$$

Получим окончательное выражение для суммарной площади тормозных щитов

$$S_{щ} = \frac{2D_c [cG_1 (\mu_2 v_{0\infty} + c) + G_2 (\mu_2^2 v_{0\infty}^2 - c^2)]}{C_x \rho gv_{0\infty}^2 (I - ct_1 - \mu_2 v_{0\infty} t_1)} - \frac{(\zeta_s + \zeta_w)}{C_x} \Omega. \quad (9)$$

В данной формуле:

$S_{щ}$ – суммарная площадь тормозных щитов, m^2 ;

D_c – водоизмещение судна, H ;

c – скорость течения, m/c ;

$v_{0\infty}$ – скорость полного переднего хода судна на глубокой воде, m/c ;

g – ускорение свободного падения, m/c^2 ;

ρ – плотность воды, kg/m^3 ;

Ω – площадь смоченной поверхности судна, m^2 ;

G_1, G_2, μ_2 – безразмерные коэффициенты, определяемые в соответствии с методом В.Г. Павленко [1].

ζ_s, ζ_w – безразмерные коэффициенты вязкостного и волнового сопротивления, определяемые в соответствии с методом НИИВТа [1].

t_1 – время реверса движителей, с ;

l – минимально допустимая величина пути активного торможения при следовании по изгибу фарватера, м .

По формуле (9) были проведены расчеты по определению суммарных площадей тормозных щитов для ряда судов смешанного река-море плавания [3-5] для поворота, при глубине фарватера $H=10$ м, при следовании судна по течению, имеющему скорость $c=1$ м/с, время реверса принято $t_1=5$ с, угол раскрытия тормозных щитов $\alpha=80^\circ$; расчет проводился для реки Иртыш на участке от Омска до Тобольска, поворот Каргачинский, величина l для этого поворота равна 233,2 м. Исходные данные и результаты расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Расчет площади тормозных щитов

№ проекта, класс	L , м	B , м	T , м	δ	Dc , т	$v_{0\infty}$, м/с	Тип двигателя	$S_{щ}$, м ²
488-АМ/2, II СПА2	112,50	13,2	3,75	0,845	4847	5,7	Открытые винты	1,59
0225, М-СП	121,73	15,6	3,20	0,889	5400	5,5		17,82
292, М-СП	124,00	15,4	2,50	0,834	3980	5,7		7,35
621, М-СП	117,72	14,8	2,50	0,846	3680	5,3		1,15
613, II СП	90,20	13,0	4,00	0,760	4690	6,4		11,39
1577, М	128,60	16,5	3,51	0,845	6300	5,6		4,93
488/А, II СП	112,50	13,0	3,73	0,851	4640	5,8	Насадки	-10,59
1557, Р 4/1 С	110,50	13,0	3,50	0,818	4097	5,5		9,02
1553, М	115,26	13,0	3,50	0,823	4305	5,6		9,10

Из таблицы следует, что формула (9) дает приемлемый результат для судов смешанного плавания, имеющих сравнительно большое водоизмещение. Отрицательное значение площади тормозных щитов, полученное в результате расчета, показывает, что данное судно при данных водоизмещении, скорости, глубине и течении будет иметь меньший путь активного торможения, чем предельно допустимая его величина l и может безопасно проходить данный поворот без применения дополнительных средств торможения, в частности щитов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Павленко, В.Г.** Элементы теории судовождения на внутренних водных путях [Текст]: Инерционные качества речных судов и составов / В.Г. Павленко // -М.: Транспорт, 1971.

2 **Бобровский, Д.И.** О нормировании пути активного торможения судов смешанного река-море плавания при следовании по изгибу фарватера [Текст]: / Д.И. Бобровский // Судовождение-2006. Сб. науч. тр. Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2006.

3 **Серийные речные суда** [Текст]: Т 8, ЦБНТИ Минречфлота.-М.:Транспорт, 1987.

4 **Справочник по серийным речным судам** [Текст]: Т 7, ЦБНТИ Минречфлота. -М.: Транспорт, 1981.

5 **Справочник по серийным транспортным судам** [Текст]: Т 6, ЦБНТИ МРФ .-М.: Транспорт, 1970.

УДК 656.62

О ВЫБОРЕ БЕЗОПАСНОЙ СКОРОСТИ СУДНА ПРИ ВХОЖДЕНИИ В ПОВОРОТ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Д.И. Бобровский

Проведены расчеты безопасной скорости вхождения в поворот Каргачинский реки Иртыш на участке от г. Омска до г. Тобольска.

Задача выбора безопасной скорости судна в различных условиях плавания является очень важной для всех судов. Для судов смешанного река – море плавания, имеющих достаточно большую инерционность и относительно маломощные двигатели, особенно при эксплуатации их на внутренних водных путях, от правильного выбора скорости на прямую зависит безопасность плавания судна. Важность этой задачи обусловлена еще и тем обстоятельством, что ни МППСС-72, ни Правила плавания на ВВП не дают каких-либо практических рекомендаций для судоводителей на этот счет. И в каждом конкретном случае штурман руководствуется интуицией при выборе скорости движения судна. Поэтому является целесообразным получить количественные критерии выбора безопасной скорости судна, которые могли бы помочь судоводителям в их работе.

Таким критерием может быть безопасная скорость вхождения судна в затруднительный поворот реки или изгиб фарватера. При определении этой скорости воспользуемся упрощенным методом расчета активного торможения В.Г. Павленко [1] и критерием допустимого пути активного торможения судна при движении по изгибу фарватера [2]

$$l = \sqrt{Rb + \frac{b^2}{4}}, \quad (1)$$

где R, b – соответственно радиус кривизны и ширина фарватера, м.

Выражение для расчета пути активного торможения судна по методу В.Г. Павленко имеет вид

$$S_{\text{акт.торм.}} = ct_{\text{акт.торм.}} + \mu_2 V_{0\infty} t_1 \left(1 - F_2 \frac{t_1}{t_{\text{св.торм.}}} \right) + G_2 \frac{E}{V_{0\infty}^2} (v_1^2 - c^2), \quad (2)$$

где

$$t_{\text{акт.торм.}} = t_1 + G_1 \frac{E}{V_{0\infty}^2} (v_1 + c); \quad (3)$$

$$v_1 = \mu_2 V_{0\infty} \frac{1}{1 + F_1 \frac{t_1}{t_{\text{св.торм.}}}}. \quad (4)$$

В таком виде эти уравнения не могут быть использованы для нахождения скорости, так как при создании метода было принято допущение о пропорциональности упора на полном заднем ходу упору на полном переднем, а, следовательно, сопротивлению корпуса на полном переднем ходу. Это значит, что если подставить в приведенные выражения, например, не скорость полного переднего хода $v_{0\infty}$, а скорость среднего переднего хода, то мы получим путь, проходимый судном при маневре со среднего переднего до полной остановки относительно грунта при работе движителей на средний назад. Этот маневр не является маневром активного торможения и эти выражения применимы только для скорости полного

переднего хода.

Перед решением вопроса о безопасной скорости нужно внести изменения в приведенные выражения. Очевидно, что структура метода при этом останется неизменной. Останется без изменений и третье слагаемое в формуле пути активного торможения, определяющее путь, проходимый судном непосредственно при работе движителей на полный задний ход. Необходимо изменить второе слагаемое, определяющее путь, проходимый судном на первом этапе активного торможения, во время реверса движителя (фактически при свободном торможении); и, естественно, выражение для скорости в конце первого этапа активного торможения v_1 также изменится. Эти изменения следующие: необходимо в этих выражениях заменить скорость полного переднего хода $v_{0\infty}$ на произвольную скорость v , которую впоследствии и нужно будет нормировать. Тогда второе слагаемое в выражении (2) и выражение (4) примут вид

$$S_2 = \mu_2 v t_1 \left(1 - F_2 \frac{t_1}{t_{св.торм}} \right); \quad (5)$$

$$v_1 = \mu_2 v \frac{1}{1 + F_1 \frac{t_1}{t_{св.торм}}}. \quad (6)$$

На современных судах смешанного плавания время реверса движителей пренебрежимо мало по сравнению со временем свободного торможения. Таким образом, можно без большой погрешности принять

$$\frac{t_1}{t_{св.торм}} \rightarrow 0.$$

В соответствии с этим выражения (5) и (6) примут вид

$$S_2 = \mu_2 v t_1; \quad (7)$$

$$v_1 = \mu_2 v. \quad (8)$$

Подставив последние выражения в (2) и приравняв полученное к допустимому пути активного торможения (1), получим

$$l = c \left[t_1 + \frac{G_1 E}{v_{0\infty}^2} (\mu_2 v + c) \right] + \mu_2 t_1 v + \frac{G_2 E}{v_{0\infty}^2} (\mu_2^2 v^2 - c^2). \quad (9)$$

Решая последнее уравнение относительно v , получаем квадратное уравнение

$$\frac{\mu_2^2 G_2 E}{v_{0\infty}^2} v^2 + \left(\frac{c \mu_2 G_1 E}{v_{0\infty}^2} + \mu_2 t_1 \right) v + \left(c t_1 - l + \frac{c^2 G_1 E - c^2 G_2 E}{v_{0\infty}^2} \right) = 0. \quad (10)$$

Решения этого уравнения имеют следующий вид

$$v_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ak}}{2a}, \quad (11)$$

где
$$a = \frac{\mu_2^2 G_2 E}{v_{0\infty}^2}; \quad (12)$$

$$b = \frac{c \mu_2 G_1 E}{v_{0\infty}^2} + \mu_2 t_1; \quad (13)$$

$$k = c t_1 - l + \frac{c^2 G_1 E - c^2 G_2 E}{v_{0\infty}^2}. \quad (14)$$

Расчеты показывают, что коэффициент k всегда отрицателен и второй корень уравнения (10) отрицателен, т.е. действительным корнем является первый. Таким образом, конечное выражение для определения безопасной скорости вхождения в поворот имеет вид

**О ВЫБОРЕ БЕЗОПАСНОЙ СКОРОСТИ СУДНА
ПРИ ВХОЖДЕНИИ В ПОВОРОТ**

$$V_{\text{безопасн.}} \leq \frac{-\left(\frac{c\mu_2 G_1 E}{v_{0\infty}^2} + \mu_2 t_1\right) + \sqrt{\left(\frac{c\mu_2 G_1 E}{v_{0\infty}^2} + \mu_2 t_1\right)^2 - 4 \frac{\mu_2^2 G_2 E}{v_{0\infty}^2} \left(ct_1 - l + \frac{c^2 G_1 E - c^2 G_2 E}{v_{0\infty}^2}\right)}}{2 \frac{\mu_2^2 G_2 E}{v_{0\infty}^2}}. \quad (15)$$

Величины, входящие в формулу, рассчитываются согласно методу В.Г. Павленко [1].

По данной формуле были проведены расчеты безопасной скорости вхождения в поворот Каргачинский реки Иртыш на участке от Омска до Тобольска ($l=233,2$ м) по течению, скорость которого $c=1$ м/с, глубине $H=10$ м, время реверса для всех судов [3-5] принято равным 5 с. Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Расчет безопасной скорости вхождения в поворот

№ проекта, класс	L, м	B, м	T, м	δ	Dc, т	$v_{0\infty}$, м/с	Тип движителя	$v_{\text{безопасн.}}$, м/с	Режим движения
488-AM/2, II СПА2	112,50	13,2	3,75	0,845	4847	5,7	Открытые винты	5,27	
0225, М-СП	121,73	15,6	3,20	0,889	5400	5,5		2,28	С.Х.
292, М-СП	124,00	15,4	2,50	0,834	3980	5,7		4,15	С.Х.
621, М-СП	117,72	14,8	2,50	0,846	3680	5,3		5,00	
613, II СП	90,20	13	4,00	0,76	4690	6,4		3,68	С.Х.
1577, М	128,60	16,5	3,51	0,845	6300	5,6		4,85	С.Х.
1557, Р 4/1 С	110,50	13	3,50	0,818	4097	5,5	Насадки	3,60	С.Х.
488/А, II СП	112,50	13	3,73	0,851	4640	5,8		7,07	
1553, М	115,26	13	3,50	0,823	4305	5,6		3,75	С.Х.

Анализируя полученные результаты таблицы 1, можно сделать вывод о том, что если в результате расчета получается значение безопасной скорости большее, чем паспортная скорость, то данное судно может безопасно входить в данный поворот, не снижая скорость; однако в большинстве случаев для прохождения затруднительных поворотов снижение скорости необходимо.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Павленко, В.Г.** Элементы теории судовождения на внутренних водных путях [Текст]: Инерционные качества речных судов и составов / В.Г. Павленко // -М.: Транспорт, 1971.
- 2 **Бобровский, Д.И.** О нормировании пути активного торможения судов смешанного река-море плавания при следовании по изгибу фарватера [Текст]: / Д.И. Бобровский // Судовождение-2006. Сб. науч. тр. Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2006.
- 3 **Серийные речные суда** [Текст]: Т 8, ЦБНТИ Минречфлота.-М.:Транспорт, 1987.
- 4 **Справочник по серийным речным судам** [Текст]: Т 7, ЦБНТИ Минречфлота. -М.: Транспорт, 1981.
- 5 **Справочник по серийным транспортным судам** [Текст]: Т 6, ЦБНТИ МРФ .-М.: Транспорт, 1970.

УДК 629.12:628.5

МАЯТНИКОВАЯ ЖЕСТКОСТЬ ПРУЖИННЫХ ПОДВЕСОК

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»
Новосибирское высшее военно-командное училище

А.М. Барановский, А.Н. Потянихин

Рассмотрено влияние внешней постоянной силы на виброзащитные свойства подвески судового дизеля. Введено понятие маятниковой жесткости и дана экспериментальная оценка на примере модели подвески.

Уменьшение вибрации корпуса, вызываемой двигателем, достигается установкой его на виброизоляторы состоящие из миниатюрных пружин, которые проявляют аномально высокую шумоизоляцию особенно в области частот 300-500 Гц.

Особенно эффективны сжатые пружины, которые, однако, не обеспечивают устойчивость подвески. Виброизоляция сжатыми пружинами порождает следующую проблему. При воздействии внешних сил, и даже силы веса, дизель смещается (заваливается). Как известно одним из показателей стабилизирующих систем является статистическое смещение (5 мм – временно допустимое, 1 мм – рекомендуемое). Колебания от дизеля при чрезмерном смещении передаются на агрегаты систем обеспечивающих его работоспособность, а также на вал с муфтой, которые монтируются на основание (корпус судна). В лучшем случае это приводит к уменьшению срока службы элементов валопровода, например, эластичной муфты.

Таким образом, возникает противоречие между высокими виброзащитными свойствами и низкой устойчивостью подвески. Такое явление наблюдалось авторами при установке дизель-электрического агрегата на теплоходе пр. 7.03. Недостаточную устойчивость не удавалось объяснить в рамках известных расчетных зависимостей. Для исследования вопроса были проведены эксперименты, которые должны были подтвердить гипотезу существования маятниковой жесткости.

Для выявления маятниковой жесткости в общей жесткости и ответа на вопрос есть она или нет, был поставлен эксперимент на модели подвески. Исследовалась площадка (рисунок 1) установленная на четырех пружинах заделанных по концам.

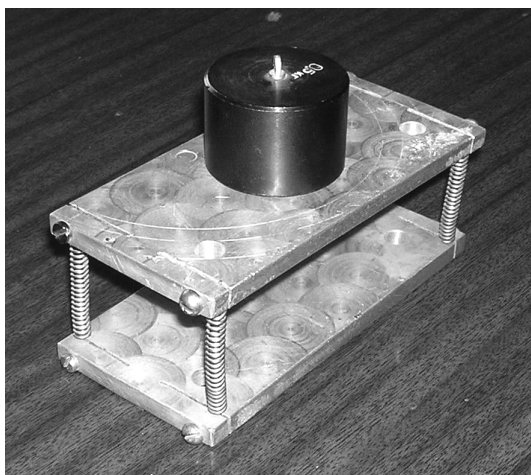


Рисунок 1 – Модель подвески

**МАЯТНИКОВАЯ ЖЕСТКОСТЬ ПРУЖИННЫХ
ПОДВЕСОК**

Площадки имеют размеры 7,5×75×150 мм и выполнены из легкого сплава. Длина активной части пружин 35 мм. Число витков 22, диаметр проволоки 1,3 мм. Внешний диаметр пружин 6,8 мм. (Образец предоставлен лабораторией проф. Зуева А.К.)

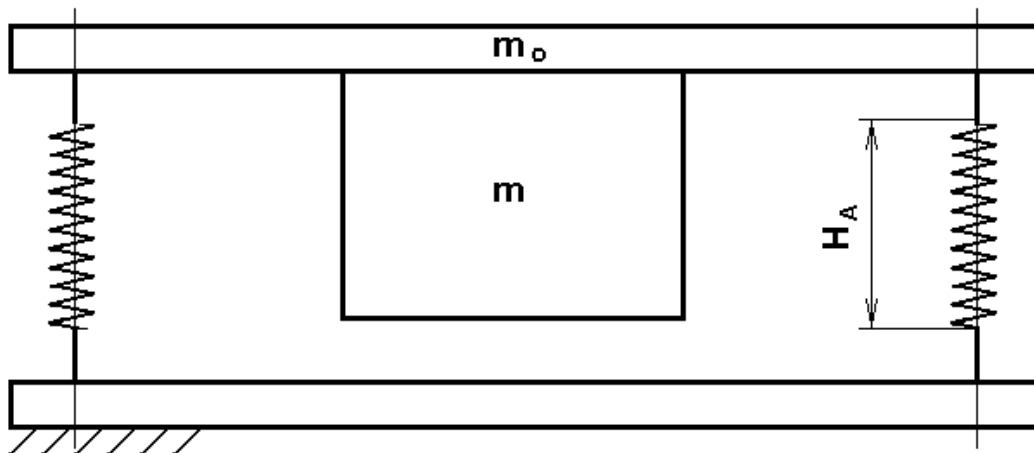


Рисунок 2 – Образец подвески с дополнительной массой

Для удаления частот поперечных свободных колебаний, поперечная жесткость была выбрана в 15 раз меньше продольной жесткости. Это позволило снизить частоту поворотных колебаний в плоскости рисунка.

Математическая модель эксперимента. В ходе эксперимента необходимо доказать наличие маятниковой жесткости. Для этого замерялась частота колебаний одинаковой массы образованной соединением массы площадки и груза. При этом пружины были сначала сжаты, а затем растянуты силой веса. Если маятниковой жесткости нет, то частоты свободных колебаний в обоих случаях будут одинаковыми. В противном случае на сжатых пружинах собственная частота будет ниже, а на растянутых пружинах частота будет выше. Кроме того, имеется возможность сравнить полученные значения с расчетными величинами.

Собственная частота поперечных колебаний массы на четырех пружинах может быть рассчитана с учетом маятниковой жесткости

$$\omega_x = \sqrt{\frac{C_x + C_m}{m_0 + m}}, \quad (1)$$

где C_x – поперечная жесткость пружины;

C_m – маятниковая жесткость пружины;

m_0 – масса площадки найденная взвешиванием, $m_0 = 0,29$ кг;

m – масса груза из набора разновесов, $m = 0,5$ кг.

Маятниковая жесткость найдется по известной формуле для малых колебаний математического маятника

$$C_m = \frac{G}{H_A} = \frac{(0,29 + 0,5) \cdot 9,81}{0,035} = 221 \text{ Н/м}, \quad (2)$$

где H_A – эффективная высота пружин подвески, $H_A = 0,035$ м.

Для измерения времени использовался электронный секундомер Nokia5100 с ручным управлением.

Расположение дополнительной массы на платформе может влиять на частоту свободных колебаний. Исследовать это влияние можно при помощи различного крепления груза. Закрепление груза на подвеске (рисунок 3) с растянутыми (2, 4) и сжатыми (1, 3) пружинами позволило исключить влияние момента инерции дополнительной массы.

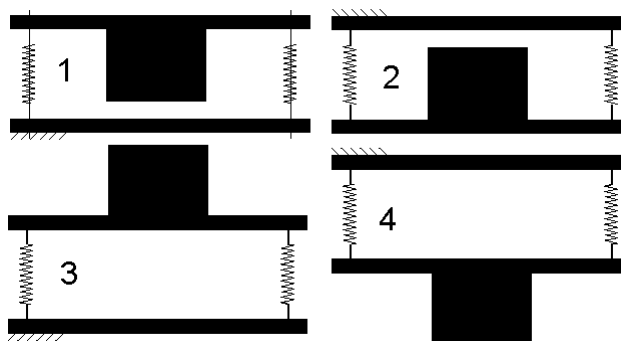


Рисунок 3 – Схема установки дополнительной массы

В результате десяти измерений получено среднее время 100 колебаний при разных положениях массы:

- масса сверху, пружина растянута 18,2 с;
- масса сверху, пружина сжата 15,3 с;
- масса снизу, пружина растянута 18,1 с;
- масса снизу, пружина сжата 15,55 с.

Принимаем для сжатой пружины 15,4 с на 100 колебаний, что соответствует частоте 40,8 рад/с. для растянутой пружины 18,15 с на 100 колебаний, что соответствует частоте 34,6 рад/с.

Отношение жесткостей подвески при растянутых и сжатых пружинах пропорционально квадратам собственных частот

$$\frac{C_c}{C_p} = \frac{\omega_c^2}{\omega_p^2} = \frac{34,6^2}{40,8^2} = 0,72. \quad (3)$$

Составим систему уравнений для определения поперечной составляющей жесткости

$$\begin{aligned} C_c &= C_x - C_m; \\ C_p &= C_x + C_m. \end{aligned} \quad (4)$$

Из этой системы и предыдущего отношения (3) получим

$$C_x = 6,14C_m = 6,14 \cdot 211 = 1296 \text{ Н/м}. \quad (5)$$

Теперь сравним экспериментальное значение поперечной жесткости и теоретическое, вычисляемое по формуле

$$C_x = \left(\frac{73,6DH_A^2n_x}{6Ed^4} + \frac{2Dn_x \left(4 \left(\frac{D}{d} \right)^2 + 3,6 \right)}{d^2E} \right)^{-1} = 1228 \text{ Н/м}. \quad (6)$$

Ошибка эксперимента

$$\varepsilon = \frac{1296 - 1228}{1296} 100 = 5,2 \%. \quad (7)$$

Если бы понятия маятниковой жесткости не существовало, ошибка составила бы

$$\varepsilon = \frac{211}{1296} 100 = 16,3 \%. \quad (8)$$

По результатам эксперимента можно сделать следующие выводы:

- Маятниковая жесткость существует;
- Модель маятниковой жесткости подтверждается экспериментом;
- При расчетах подвесок со сжатыми или растянутыми пружинами учет маятниковой жесткости обязателен.

Надлежащим выбором параметров подвески можно существенно снизить поперечную к оси пружины жесткость виброизолятора.

УДК 629.12:628.5

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПРУЖИННЫХ ПОДВЕСОК

ООО «МИО»

М.К. Романченко

Рассмотрены принципиальные вопросы расчета подвесок содержащих миниатюрные винтовые пружины. Показано существенное различие коэффициентов жесткости в зависимости от направления нагрузки.

Виброизолятор является ответственной частью подвески, поскольку его разрушение приводит к расцентровке валопровода и может вызвать аварию. Виброизолятор состоит из нижнего и верхнего оснований и упругого элемента закрепленного между ними. Виброизолятор нагружен как статически, так и динамически. В быстроходных двигателях упор передается на корпус судна через отдельный подшипник и виброизоляторы нагружены только весом и моментом. При маневрах возможны сотрясения, при которых допускаются удары в ограничители.

Задание на проектирование было составлено на основании ТУ ТСК-030-05 Дизель-редукторный агрегат ДРА-525, выпущенных ЗАО «Тюменьсудокомплект». Двигатель и редуктор составляют единый корпус.

Задание предусматривало проектирование виброизолирующей подвески дизель-редукторного агрегата состоящего из двигателя 12ЧСПН14/14 марки ЯМЗ-8401.10, реверс – редуктора СБ1225-01-14, плавающей рамы и виброизоляторов.

Ограничения включают напряжения в упругих элементах и конструкции опор и смещения контрольных точек. Основные исходные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные

Наименование	Обозначение	Единицы измерения	Численное значение
Масса дизеля с редуктором	M_A	кг	2871
Масса рамы с виброизоляторами	M_P	кг	229
Мощность на фланце редуктора	N	кВт	386
Частота вращения номинальная	n	c^{-1}	1500
Частота вращения минимальная	n_{min}	c^{-1}	650
Частота вращения минимально устойчивая	$n_{пуск}$	c^{-1}	600
Число цилиндров	z	–	12
Передаточное отношение одинаковое на передний и задний ход	i	–	2,03
Число лопастей гребного винта	$z_{винта}$	–	3
Дисковое отношение	Θ	–	0,9

Вынуждающие силы и моменты. Крутящий момент на фланце редуктора на номинальной частоте вращения

$$T = \frac{9550 \cdot N \cdot i}{n} = \frac{9550 \cdot 386 \cdot 2,03}{1500} = 4989 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (1)$$

Крутящий момент на фланце редуктора на минимальной частоте вращения с учетом винтовой характеристики равен

$$T_{\min} = T \left(\frac{n_{\min}}{n} \right)^2 = 4989 \left(\frac{650}{1500} \right)^2 = 937 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (2)$$

Амплитуда вынуждающего момента первого порядка от сил давления газов на номинальной частоте вращения

$$M_1 = I_1 \frac{\pi}{4} D^2 r p_c = 0,11 \cdot \frac{3,14}{4} 0,14^2 \cdot 0,07 \cdot 5000000 = 592 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (3)$$

где I_1 – коэффициент первой гармоники.

От половинного, полуторного и второго порядка моменты приблизительно такие же. От других порядков моменты незначительны.

Диапазон частот вынуждающего момента первого порядка от сил давления газов равен частоте вспышек в цилиндрах

$$n_{\text{ex}} = \frac{n}{2} z = \frac{(650 \dots 1500)}{2} 12 = 3900 \dots 9000 \text{ колебаний/мин}. \quad (4)$$

Диапазон частот вынуждающего момента половинного порядка от сил давления газов вдвое меньше

$$n_{\text{ex}} = \frac{n}{2 \cdot 2} z = \frac{(650 \dots 1500)}{2 \cdot 2} 12 = 1950 \dots 4500 \text{ колебаний/мин}. \quad (5)$$

Диапазон частот вынуждающего момента от гребного винта равен частоте мелькания лопастей

$$n_{\text{pr}} = \frac{n}{i} z_{\text{pr}} = \frac{(650 \dots 1500)}{2,03} 3 = 961 \dots 2217 \text{ колебаний/мин}. \quad (6)$$

Диапазон частот вынуждающей силы и момента от некачественной сборки валовой линии равен частоте вращения винта

$$n_s = 296 \dots 739 \text{ кол./мин}.$$

В результате получаем диапазон частот вынуждающих моментов 296...9000 колебаний/мин., 4,93...150 Гц, 31...942 рад/с. Подвеска агрегата не должна иметь опасных резонансов в этом диапазоне частот.

Расчет жесткости упругого элемента. Для характеристики виброизолятора используются следующие признаки: допустимая нагрузка, допустимая деформация, габариты, масса и жесткость в трех направлениях.

По условиям размещения и для сохранения технической приемственности был принят виброизолятор под нагрузку 3,0 кН, в габаритах АКСС-300.

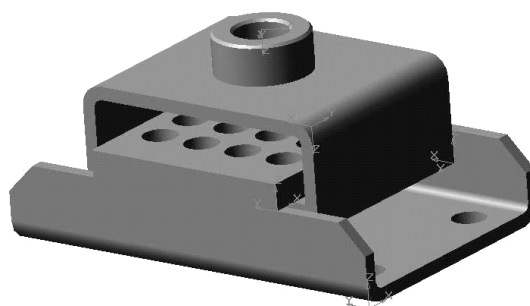


Рисунок 1 – Общий вид виброизолятора

Конструкцию упругого элемента принимаем по прототипу испытанному на т/х пр. 7.03.

**ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПРУЖИННЫХ
ПОДВЕСОК**

Основная часть содержит миниатюрную пружину растяжения (рисунок 2) со средней частью работающей кроме растяжения или сжатия на сдвиг.

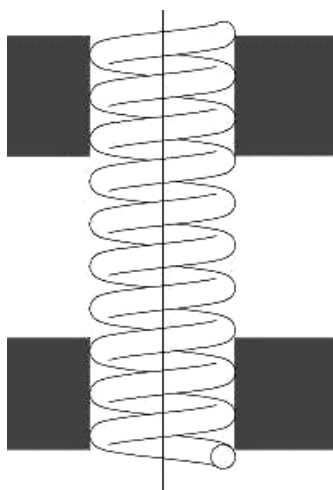


Рисунок 2 – Закрепление концов пружины

Назначенное количество пружин в опоре – 16.

Назначенное количество опор в подвеске – 10.

Полная масса агрегата

$$M_{\Sigma} = M_A + M_P = 2871 + 229 = 3100 \text{ кг.} \quad (7)$$

Вес агрегата

$$G_{\Sigma} = M_{\Sigma} \cdot 9,81 = 30411 \text{ Н.}$$

Средний вес на одну пружину

$$G_0 = \frac{30411}{16 \cdot 10} = 190 \text{ Н.}$$

Назначаем пружину растяжения II класса, 1 разряда (ГОСТ 13770-68), с диаметром проволоки 2,2 мм, наружным диаметром витка 13,2 мм.

Назначаем число рабочих витков $n = 8$.

Длина пружины в недеформированном состоянии

$$H_0 = n \cdot d = 8 \cdot 2,2 = 17,6 \text{ мм.} \quad (8)$$

Продольная жесткость пружины

$$C = \left(\frac{8nD^3}{d^4G} + \frac{4Dn}{d^2G} \right)^{-1} = 22380 \text{ Н/м.} \quad (9)$$

Деформация пружины от среднего веса

$$\Delta = \frac{G}{C} = \frac{190}{22380} = 0,00845 \text{ м} = 8,45 \text{ мм.} \quad (10)$$

Длина предварительно натянутой пружины равна толщине двух пластин

$$H_1 = 2 \cdot 10 = 20 \text{ мм.}$$

Предварительный натяг

$$H_1 - H_0 = 20 - 17,4 = 2,6 \text{ мм.}$$

Средняя часть пружины между плитами равна деформации пружины от среднего веса, плюс длина свободной пружины, минус толщина двух пластин

$$H_m = \Delta + H_0 - 20 = 8,45 + 17,6 - 20 = 6,05 \text{ мм.}$$

Активная часть для деформации изгиба больше средней части на диаметр витка

$$H_A = H_m + D = 6,05 + 11 = 16,05 \text{ мм.}$$

Длина пружины в деформированном состоянии

$$H_2 = H_0 + \Delta = 17,6 + 8,45 = 26,05 \text{ мм.}$$

Число витков активной части

$$n_x = n \frac{H_A}{H_2} = 8 \frac{16,05}{26,05} = 4,93.$$

Поперечная жесткость пружины

$$C_x = \left[\frac{73,6DH_A^2n_x}{6Ed^4} + \frac{2Dn_x \left(4 \left(\frac{D}{d} \right)^2 + 3,6 \right)}{d^2E} \right]^{-1} = 21790 \text{ Н/м.} \quad (11)$$

Маятниковая поперечная жесткость пружины

$$C_m = \frac{G}{H_A} = \frac{190}{0,01605} = 11838 \text{ Н/м.} \quad (12)$$

В зависимости от того, сжаты или растянуты пружины в подвеске, полная поперечная жесткость пружины равна разности или сумме поперечной и маятниковой жесткости:

– для сжатых пружин

$$C_{\Sigma} = C_x - C_m = 21790 - 11838 = 9952 \text{ Н/м;}$$

– для растянутых пружин

$$C_{\Sigma} = C_x + C_m = 21790 + 11838 = 33628 \text{ Н/м.}$$

Коэффициенты жесткости виброизолятора (рисунок 3) из 16 пружин указаны в таблице 2 по осям.

Таблица 2 – Коэффициенты жесткости виброизолятора, Н/м

Оси	X	Y	Z
Жесткость сжатых пружин	159232	358080	159232
Жесткость растянутых пружин	538048	358080	538048

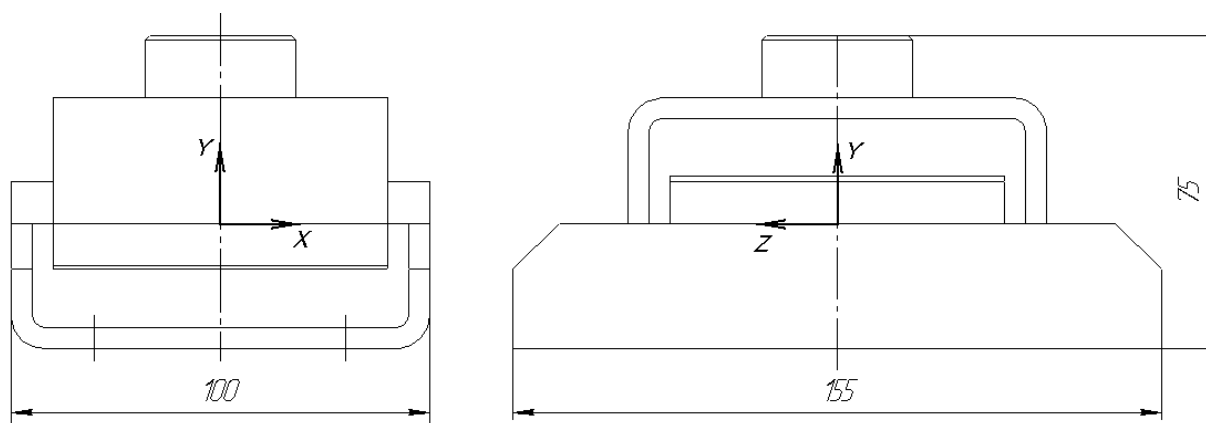


Рисунок 3 – Эскиз виброизолятора и направление осей

Указанное явление понижения жесткости было использовано на ряде судов для повышения эффективности подвески. Особенно эффективно понижение жесткости для рядных двигателей судовых электростанций, подвески которых выполняются с малой шириной рамы и, соответственно, с малой устойчивостью на опрокидывание.

УДК 626.554

ХАРАКТЕРНЫЕ ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ ШЕСТЕРЕН СУДОВЫХ И ПОРТОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Р.Ф. Пеньков, И.С. Иванчик, А.О. Токарев

Рассмотрены условия работы шестерен и исходя из этого сформулированы требования к материалу и его термической обработке, обобщены результаты исследования причин разрушения деталей типа шестерен и сделаны рекомендации по совершенствованию их изготовления на судоремонтных предприятиях.

Требования к материалу и технологии упрочняющей обработки. Наиболее нагруженными частями шестерен являются зубья, которые работают на изгиб, смятие, износ и удар.

Наибольшей твердостью должны обладать поверхностные слои зуба, где при работе возникают наибольшие напряжения, а прочность внутренних слоев металла зуба может быть ниже поверхностных, а трещиностойкость, вязкость выше.

Износостойкость зубьев будет практически прямопропорциональной их поверхностной твердости и не зависит от свойств материала сердцевины.

Для того, чтобы зубья хорошо воспринимали ударную нагрузку, они должны обладать значительным запасом вязкости в сочетании с высокой прочностью. Применительно к сталям таким сочетанием свойств обладает сорбит отпуска.

В общем случае материал шестерен должен быть вязким, а рабочая поверхность зубьев должна обладать высокой твердостью и, следовательно, износостойкостью.

Таким образом, для обеспечения надежной работы шестерен особое значение приобретает правильный выбор стали и методов ее термической обработки.

Сталь для шестерен должна обладать удовлетворительной вязкостью при высоких значениях предела прочности, предела усталости и предела контактной выносливости, в связи с чем, для изготовления шестерен рекомендуется применять только наследственно мелкозернистые стали.

Сталь для шестерен должна обладать хорошей обрабатываемостью резанием, в противном случае ухудшается качество рабочей поверхности, а возникающие в материале внутренние напряжения способствуют увеличению деформации шестерен.

Шестерни, работающие при малых удельных давлениях и небольших скоростях, изготавливают из углеродистых сталей 45 и 50.

При более тяжелых условиях работы для изготовления шестерен применяют легированные стали марок 40Х, 35ХМ, 40ХН и другие, обладающие большей прокаливаемостью.

Шестерни, работающие под большими удельными нагрузками и испытывающие в работе удары, изготавливаются из цементируемых, чаще легированных сталей 20Х, 20ХЗ, 12ХНЗА, 18ХГТ, 18ХНВА, 30ХГТ и др.

Наилучшим способом изготовления заготовок для зубчатых колес является штамповка, затем ковка и прокат. В практике находит применение метод горячей накатки зубьев при нагревании поверхности заготовки токами высокой частоты.

Технологические процессы термической и химико-термической обработки зависят от условий работы шестерни и выбранной марки стали в соответствии с этими условиями.

Шестерни из углеродистых улучшаемых сталей, используемые в приводах металлорежущих станков и аналогичных механизмах, подвергаются улучшению на НВ=2300-2500 МПа.

Шестерни из хромистой стали 40Х после закалки в масле отпускают на 260, если они

предназначены для работы при небольших удельных давлениях, или на HRC=47-50, если при работе на шестерни будут действовать значительные удельные давления.

В особо ответственных случаях шестерни из улучшаемых сталей, прошедшие предварительно полную нормализацию или улучшение, подвергаются поверхностной закалке ТВЧ. При этом для шестерен малых и средних размеров применяется одновременная закалка, а для крупных шестерен – непрерывно-последовательная закалка, в основном, методом «по впадине».

Шестерни из цементируемых сталей подвергаются газовой цементации в контролируемых атмосферах с автоматическим регулированием углеродного потенциала. Оптимальная глубина цементированного слоя должна составлять 15% от толщины зуба по начальной окружности. За глубину слоя принимается сумма заэвтектоидной и часть доэвтектоидной зоны с содержанием углерода выше 0,4%.

Зубчатые колеса из хромомарганцетитановых сталей цементируют. После цементации подстуживают до 820-840оС (18ХГТ) или до 780-800оС (30ХГТ) и закалывают в масле. После низкого отпуска при 220оС микроструктура цементированного слоя должна состоять из мелкокогильчатого мартенсита с мелкими включениями цементита и небольшого количества остаточного аустенита. Твердость этого слоя HRC=57-62, а сердцевины HRC=30-49.

В крупных шестернях ответственного назначения, изготавливаемых из никельсодержащих сталей 12Х2Н4А и 18Х2Н4МА, закалка с температур цементации фиксирует большое количество остаточного аустенита. Поэтому после цементации такие шестерни охлаждают на воздухе, а затем подвергают высокому отпуску при температуре 600-650оС с выдержкой 3-5 часов. При этом происходит выделение дисперсных карбидов из аустенита и распад последнего. После отпуска производят повторную неполную закалку. При нагреве под закалку карбиды не успевают раствориться в аустените, что приводит к уменьшению остаточного аустенита. После низкого отпуска при 160-180оС твердость поверхности зубьев составляет HRC=59-62, а сердцевины HRC=40.

Характерные случаи выхода из строя зубчатых соединений. В течение ряда лет нами на судах Восточных бассейнов производились исследования по установлению причин разрушения различных деталей судовых механизмов и машин, в том числе шестерен. Из числа исследованных шестерен 38% были выведены из строя нагрузками, превышающими предел прочности материала шестерен. В 62% случаях преждевременный выход из строя шестерен распределительных механизмов СДВС связан с материалами, из которых изготовлены шестерни.

Недостатки технологии поверхностного упрочнения ТВЧ. Поломка зубьев шестерен заднего хода двигателя ЗДб из стали 45, обработанной на HRC=55, произошла из-за того, что средние и верхние части зубьев были закалены насквозь, а переходная зона совпала с основанием зуба, т.е. с зоной максимальных напряжений. По этой же причине произошел усталостный излом и выкрашивание зубьев шестерен привода компрессора двигателя 18Д Омского ССРЗ (рисунок1).

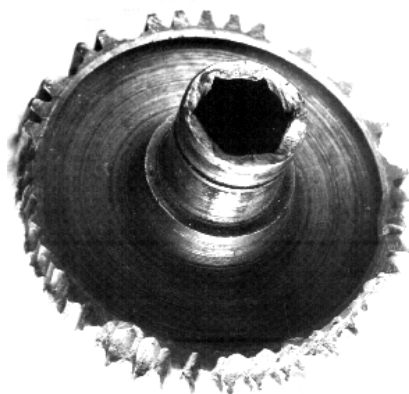


Рисунок 1 – Выкрашивание зубьев шестерен из-за неправильно выполненной закалки

ХАРАКТЕРНЫЕ ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ ШЕСТЕРЕН СУДОВЫХ И ПОРТОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

Закалка зубьев ТВЧ на всю глубину способствовала разрушению вала- шестерни из стали 45 тали грузоподъемностью 1,5 т т/х «ОТА-900» (рисунок 2). По аналогичной причине произошло преждевременное разрушение привода тали т/х «Баку», также изготовленной из стали 45 (рисунок 3).

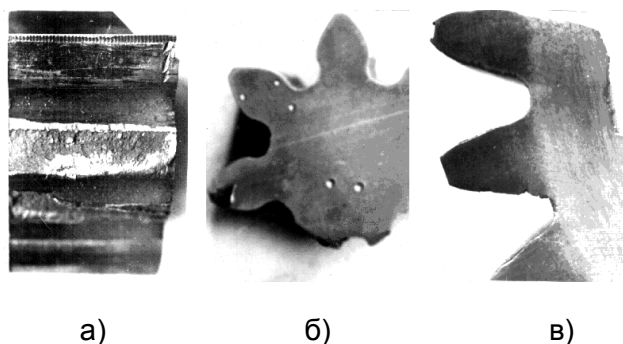


Рисунок 2 – Общий вид (а), характер изменения твердости (б) и микрошлиф разрушенной конической шестерни (в)

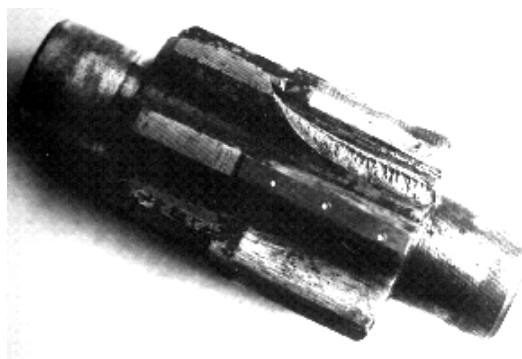


Рисунок 3 – Разрушенная шестерня привода тали теплохода «Баку»

Основной причиной выхода из строя шестерен различных металлорежущих станков является нарушение режимов термической обработки. По этой причине разрушилось две трети из числа исследованных шестерен.

В большинстве случаев разрушение вызывается тем, что закалка производится только для головки зуба, а зона перехода закаленной зоны к исходной структуре совпадает с ножкой зуба, т.е. с зоной наибольших изгибающих напряжений (рис.4-7).

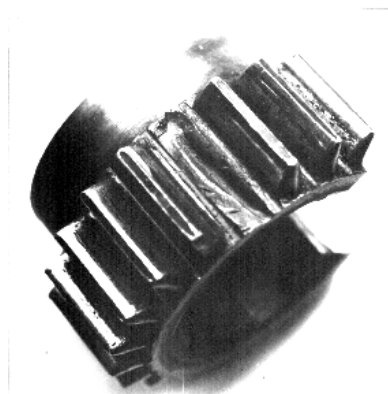


Рисунок 4 – Разрушение двух зубьев шестерни из стали 45 коробки 1А61, передач токарного станка

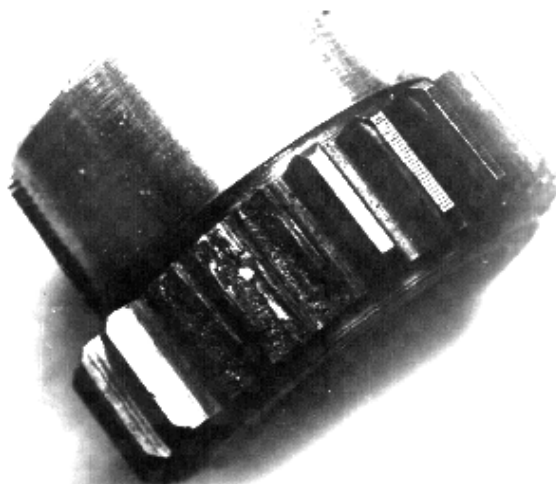


Рисунок 5 – Шестерня токарного станка изготовленная из стали 40X.

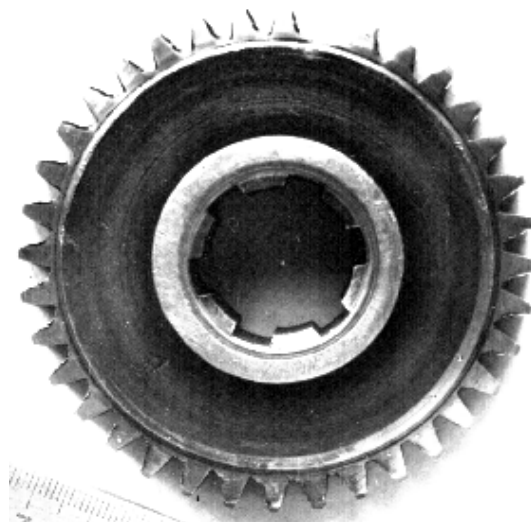


Рисунок 6 – Поломка зуба шестерни токарного станка 1К62



Рисунок 7 – Излом зубьев шестерни токарного станка 1К62

Ошибки при проведении ХТО. Через 500 часов работы изнашивались шлицы шестерен двигателя М-5 (рис.8), установленного на т/х «Ракета» №98 Новосибирского ССРЗ, из-за наличия обезуглероженного слоя на их поверхности, возникшего при термической обработке.

**ХАРАКТЕРНЫЕ ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ ШЕСТЕРЕН СУДОВЫХ
И ПОРТОВЫХ МЕХАНИЗМОВ**

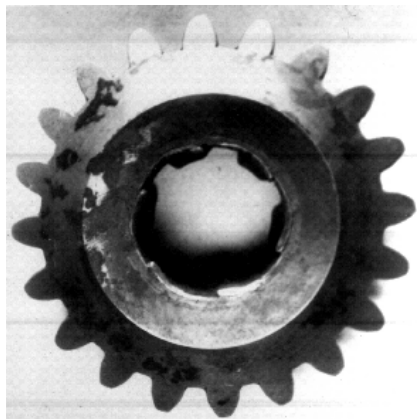


Рисунок 8 – Износ шлицев шестерни из-за наличия обезуглероженного слоя

Наличие цементитной сетки послужило причиной преждевременного разрушения шестерни распределительного вала двигателя ЗДб (рисунок 9), изготовленной из стали 18ХНЗА, хотя твердость поверхности зубьев находилась в пределах требований чертежа и составляла HRC=56-62.

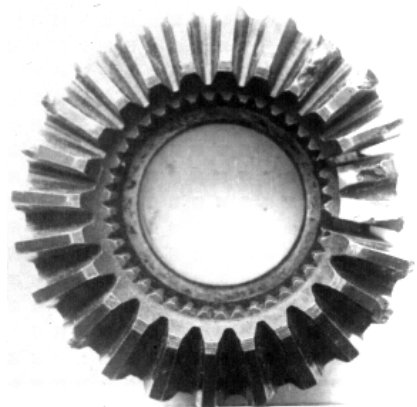


Рисунок 9 – Разрушение зубьев шестерни из-за наличия в цементированном слое сетки цементита

Отклонение от оптимальных режимов термической обработки. В ряде случаев разрушение шестерен вызывается нарушением режимов термической (рисунок 10) или химико-термической (рисунок 11) обработки.

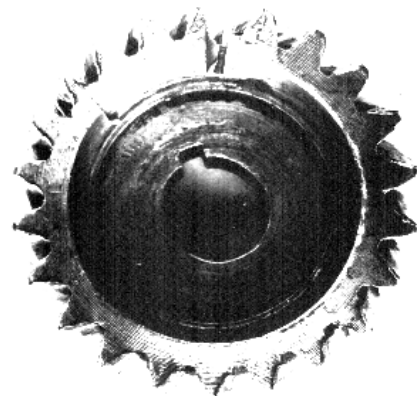


Рисунок 10 – Ускоренный износ зубьев шестерни из стали 45 механизма привода насоса двигателя 4Ч10,5/13 из-за заниженной твердости

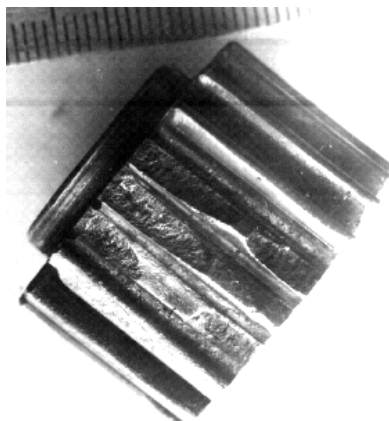


Рисунок 11 – Поломка зубьев шестерни топливного насоса двигателя «Шкода» с землесоса «1005» из-за наличия цементитной сетки

Из числа исследованных шестерен приводов грузоподъемных механизмов большая часть (56%) разрушений связана с тем или иным нарушением режимов термической обработки, а 44% - с местной концентрацией напряжений и другими причинами.

Износ зубьев конической шестерни редуктора двигателя ЗД6 (рисунок 12) произошло из-за недостаточной твердости, которая составила HRC=40 вместо положенной HRC=60 по чертежу.

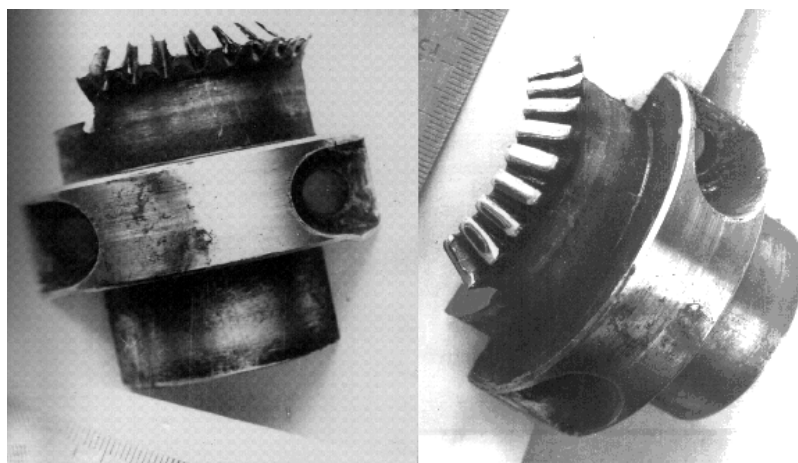


Рисунок 12 – Износ зубьев конической шестерни из-за заниженной твердости

Смятие зубьев червячного колеса привода сварочного трактора, изготовленного из стали 20, произошло из-за явно недостаточной твердости. Шестерня не подвергалась цементации, а ее микроструктура отвечает состоянию поставки (рисунок 13).



Рисунок 13 – Общий вид изломанных зубьев шестерни из стали 20, не прошедший термической обработки

**ХАРАКТЕРНЫЕ ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ ШЕСТЕРЕН СУДОВЫХ
И ПОРТОВЫХ МЕХАНИЗМОВ**

Весьма показателен случай массового выхода из строя шестерен плавкрана «Блейхерт» грузоподъемностью 15 т, имевший место в Якутском речном порту. В процессе ремонта шестерни были изготовлены своими силами, а их цементация и последующая закалка были проведены «на глаз» без разработки и соблюдения режимов. В результате материал шестерен оказался перегретым, а на поверхности зубьев образовалась цементитная сетка.

Следствием заклинивания вала в подшипниках явилось разрушение шестерни распредвала двигателя ЗД6, изготовленной из стали 12ХНЗА и после цементации закаленной на HRC=58 (рисунок 14).

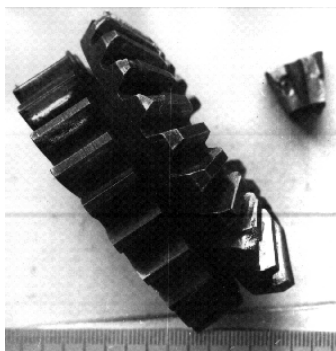


Рисунок 14 – Общий вид разрушенной шестерни распредвала двигателя ЗД6

Пренебрежение правилами выбора материалов и технологии термообработки. Ускоренный износ и исследование излома зубьев шестерни распредвала двигателя ЗД12 Хабаровского ССРЗ (рисунок 15), изготовленной из проката стали Ст3, вызван отсутствием какой-либо термической обработки.

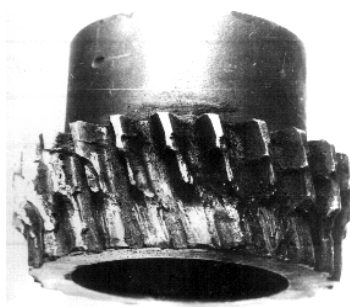


Рисунок 15 – Разрушение зубьев шестерни из-за отсутствия термической обработки

Разрушение зубчатых соединений вследствие конструкционных недостатков. Шестерня редуктора 6z275P из стали 45 разрушилась из-за ослабления ее сечения засверловкой (рисунок 16).

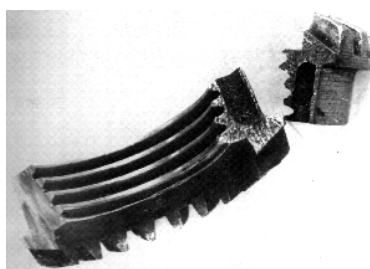


Рисунок 16 – Разрушение шестерни редуктора из-за ослабления ее сечения засверловкой

Разрушение началось от внутренней резьбы с одновременным образованием многих трещин. На рисунке 17 показана одна из трещин, взявшая начало между 2 и 3 витками резьбы. Края трещины не обезуглерожены, а ее характер свидетельствует о деформационном происхождении. Металлургических дефектов в металле шестерни не обнаружено.

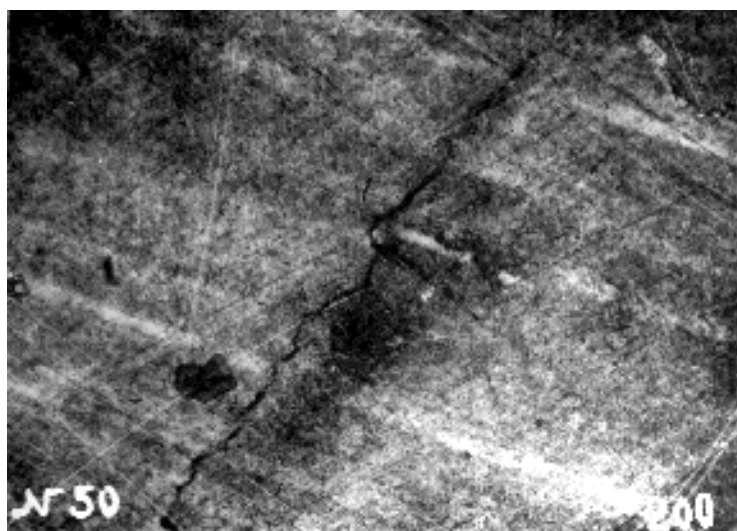


Рисунок 17 – Трещина в металле шестерни, ×200

В редукторе поворота крана КПЛ-5-30 слабым узлом является вал-шестерня муфты предельного момента. Они выходят из строя из-за поломки зубьев в нижней части вал – шестерни. На некоторых кранах вал – шестерни приходилось менять дважды за навигацию, а это связано со значительным простоем крана.

В Омском речном порту на кранах КПЛ-5-30 в узел муфты предельного момента редукторов поворота внесены некоторые конструктивные изменения, в частности, вала – шестерни. На вал – шестерне промежуточная шейка для выхода фрезы при нарезании зуба выполнена на конус (у старого вала был ступенчатый переход), что способствует ликвидации подреза зуба (рисунок 18).

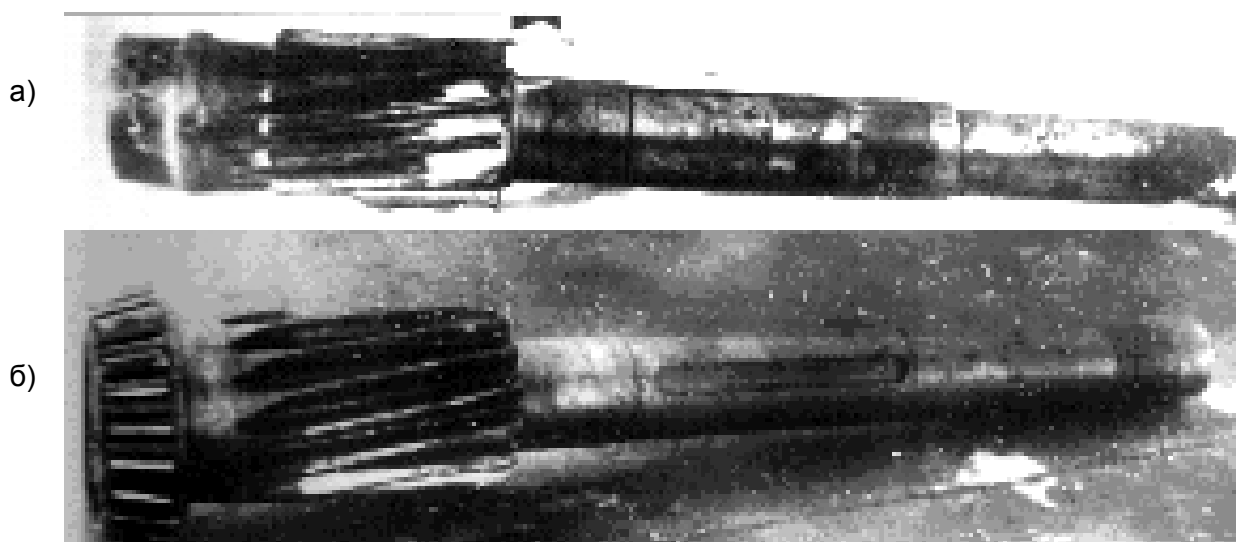


Рисунок 18 – Вал-шестерня с подрезанными зубьями (а) и он же после модернизации (б)

Нарушение правил монтажа. Перекос оси шестерни при монтаже вызвал преждевременное усталостное разрушение зуба шестерни из стали 45 редуктора привода гребного вала теплохода «Клайпеда» (рисунок 19).

**ХАРАКТЕРНЫЕ ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ ШЕСТЕРЕН СУДОВЫХ
И ПОРТОВЫХ МЕХАНИЗМОВ**



Рисунок 19 – Общий вид шестерни привода гребного вала

Нарушение правил технической эксплуатации. Малый зазор в шестом подшипнике распредвала правого двигателя ЗД6 №6426 Омского ССРЗ вызвало его заедание и последующее разрушение конической шестерни. Как показали исследования, размеры, шероховатость, твердость цементированной поверхности (HRC=58) и сердцевины (HRC=26-40) шестерни, изготовленной из стали 12ХН3А, соответствовало требованиям чертежа.

Перекося вала вызвало разрушение шестерни распредвала из стали 45 на 48-м часу в период испытания двигателя 6NVD48 на т/х «ОТ-805».

Резкое переключение с заднего на передний ход привело к разрушению шестерни из стали 40Х заднего хода реверс редуктора теплохода «ОС-17» (рисунок 20).

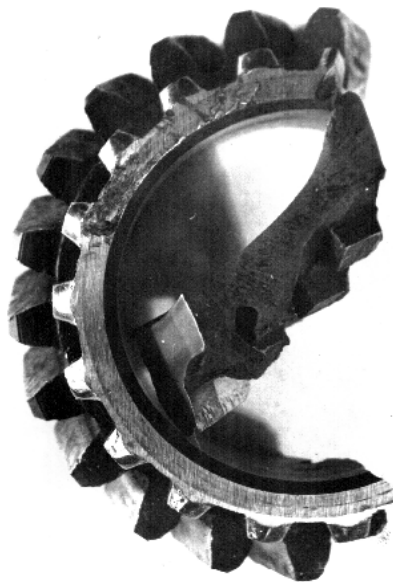


Рисунок 20 – Общий вид разрушенной шестерни реверс-редуктора

Частой причиной разрушения зубьев шестерни металлорежущих станков является неполное зацепление, что приводит к резкому возрастанию напряжений и преждевременному разрушению шестерен (рисунки 21 и 22).

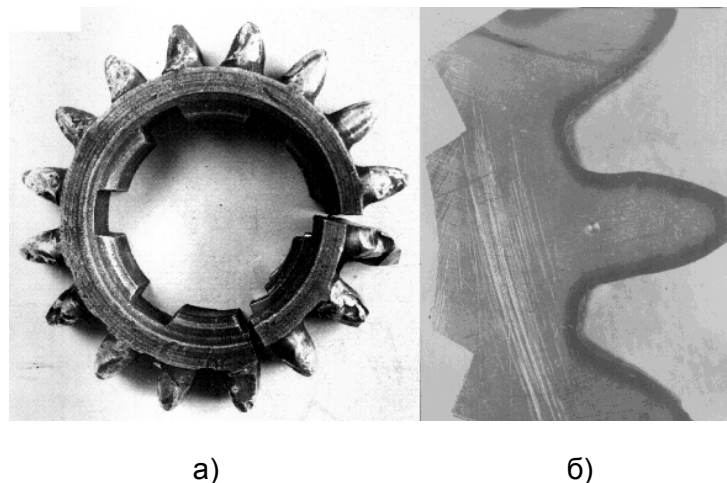


Рисунок 21 – Выкрашивание зубьев шестерни коробки передач вертикально-фрезерного станка (а) из-за неполного зацепления. разрушение началось от цементированного слоя, глубиной 1 мм (б).

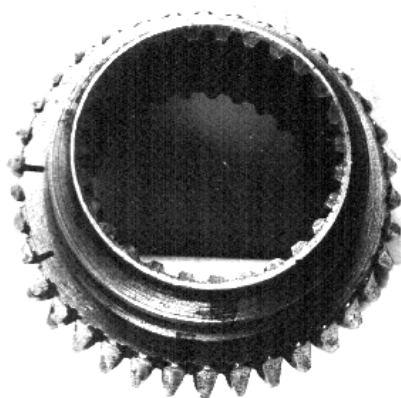


Рисунок 22 – Разрушение шестерен коробки скоростей токарно-винторезного станка

Шестерни насосов забортной воды чаще разрушаются при попадании в насос посторонних предметов. Так, по этой причине произошло разрушение конической шестерни насоса забортной воды двигателя ЗД6, изготовленной из стали 20Х.

Обсуждение результатов. Основной причиной разрушения шестерен из улучшаемых сталей, поверхностное упрочнение которых достигается закалкой ТВЧ, является несовершенство технологии термической обработки, при которой прокаливается насквозь головка зуба. По этой причине вышло из строя 50% из числа исследованных шестерен.

На 15% исследованных шестерен обнаружена заниженная твердость.

Преждевременное разрушение около 10% шестерен вызвано конструктивными недостатками, приводящими или к резкой местной концентрации напряжений, или к ослаблению сечений.

Шестерни из цементруемых сталей в основном разрушаются из-за дефектов, возникающих при цементации и последующей термической обработке – недостаточная глубина цементированного слоя, наличие карбидной неоднородности и др. По этой причине разрушилось 70% из числа исследованных шестерен.

С дефектами монтажа или эксплуатационными недостатками (перекосы, отсутствие смазки, механические воздействия) связано 20% случаев разрушения.

ХАРАКТЕРНЫЕ ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ ШЕСТЕРЕН СУДОВЫХ И ПОРТОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

Из малоуглеродистой стали (Ст3, сталь 20) было изготовлено 6% исследованных шестерен и использована в ответственных механизмах (например, шестерня распределительного вала двигателя 3Д12 Хабаровского ССРЗ и др.) без какой-либо термической обработки, что недопустимо.

В ряде случаев факторы, способствующие авариям, действуют одновременно.

Выводы и рекомендации.

1 Анализ причин разрушения шестерен показывает, что, во-первых, необходимо совершенствовать технологию закалки ТВЧ главным образом путем изготовления специальных индукторов, которые позволят получать равномерный закаленный слой по зубу и впадине.

2 Для предупреждения образования карбидной сетки содержание углерода в поверхностном слое необходимо выдерживать в заданных пределах. В случае получения карбидной сетки в диффузионном слое, обнаруженной по образцу-свидетелю, шестерни необходимо подвергать предварительной термической обработке в виде нормализации для углеродистых сталей и в виде нормализации и высокого отпуска для легированных сталей.

3 Особое внимание в ремонтных цехах должно быть обращено на контроль температуры в процессе термической и химико-термической обработки.

4 Необходимо, также, усилить контроль со стороны ОТК и исключить возможность изготовления новых шестерен при ремонте из несоответствующих материалов и установку их в механизмы без соответствующей термической обработки.

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.431.74-4

ВОДО-ТОПЛИВНЫЕ ЭМУЛЬСИИ И ИХ СВОЙСТВА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.В. Загоровский, О.Н. Сибрикова

Обобщенные результаты применения водо-топливных эмульсий в дизелях.

Анализ физико-химических свойств ВТЭ позволяет прийти к следующему заключению. Такие параметры, как плотность, поверхностное натяжение, температура вспышки и температура застывания ВТЭ возрастает практически пропорционально увеличению массовой концентрации воды в эмульсии. Вязкость эмульсии зависит от концентрации воды в большей степени и при концентрации воды 20% величина вязкости почти в 2,5 раза превышает вязкость исходного топлива.

Важным показателем ВТЭ, во многом определяющим надёжность работы дизеля является стабильность эмульсии. Эмульгированное моторное топливо обладает высокой агрегативной стабильностью. Кинетическая устойчивость эмульсии значительно ниже и зависит от концентрации воды и температуры эмульсии. Как показали исследования, именно эти параметры необходимо принимать во внимание при выборе скоростей движения в топливной системе, предупреждающих распад эмульсии.

Лабораторные испытания, проведенные рядом исследователей, показали незначительную коррозионность эмульсии. Однако для окончательных выводов необходим значительный опыт работы двигателей на ВТЭ в эксплуатационных условиях, что в настоящее время затруднительно.

Угол опережения впрыска и продолжительность подачи эмульсии возрастают по сравнению с работой дизелей на моторном топливе. Увеличение угла опережения подачи топли-

ва можно объяснить меньшей сжимаемостью эмульсии и увеличением подачи топливного насоса высокого давления, продолжительность впрыска растёт за счёт большей цикловой подачи ВТЭ. Изменение рассматриваемых параметров влияет на динамические и экономические показатели рабочего процесса двигателя и это необходимо учитывать при переводе его на ВТЭ.

На работу дизеля большое влияние оказывает процесс смесеобразования. Изучение особенностей смесеобразования при использовании ВТЭ показало, что при прочих равных условиях (одинаковые размеры сопла и скорости истечения) распыливание становится более тонким, распределение капель топлива по объёму факела более равномерным, а дальностью струи возрастает.

Улучшение рабочего процесса дизеля при переводе его на ВТЭ происходит по ряду причин, но главной среди них является «микровзрыв» капель распыленной эмульсии, что значительно улучшает процесс смесеобразования.

Увеличение периода задержки воспламенения в одних случаях приводит к некоторому ухудшению динамических показателей, в других- динамика сгорания не изменяется или даже наблюдается её улучшение. Это явление до сих пор мало изучено, однако можно заключить, что использование ВТЭ не приводит к существенному росту жёсткости работы дизелей. Снизить значение периода задержки воспламенения, как следует из экспериментов, можно за счёт подогрева эмульсии.

Изучение динамики тепловыделения показывает, что более интенсивное выделение тепла наблюдается на участке основного сгорания при использовании ВТЭ. Диаграммы свечения пламени показывают, что при сжигании ВТЭ величина отрезка времени от начала воспламенения до момента максимального свечения заметно меньше, чем при работе двигателя на «чистом» топливе. Эти факты говорят что, несмотря на увеличение периода задержки воспламенения, основной процесс сгорания ВТЭ протекает более интенсивно, чем у обычного топлива. При этом процесс сгорания ВТЭ более качественный, на что указывает снижение максимальных значений концентрации сажи, а также уменьшение сажеобразования на всем процессе последующего сгорания и расширения.

При эксплуатации двигателей наиболее важными его характеристиками являются эффективные и динамические показатели, а также надежность работы. Перевод на более тяжелое топливо ДТ по разному сказывается на работе различных двигателей. У одних показатели практически не изменяются (или мало изменяются). Это прежде всего относится к двигателям с разделенными и полуразделенными камерами сгорания. Двигатели с непосредственным впрыском топлива, как правило, работают на моторном топливе неудовлетворительно. При этом наблюдается низкая экономичность, повышенные дымность и нагарообразование и, как следствие, выход из строя распылителей и выпускных клапанов. Добавка воды изменяет эту картину и приводит к улучшению работы двигателя. Выхлоп становится бесцветным, температура выхлопных газов понижается на 8-10%, экономичность двигателя возрастает. При этом для каждого типа двигателя существует оптимальное сочетание воды в эмульсии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Лебедев, О.Н.** Двигатели внутреннего сгорания речных судов [Текст]: Учеб. Для вузов / О.Н. Лебедев, В.А. Сомов, С.А. Калашников // -М.: Транспорт, 1990. -328 с.

2 **Либефорт, Г.Б.** Судовые двигатели и окружающая среда [Текст]: / Г.Б. Либефорт // -Л.: Судостроение, 1979. -144 с.

УДК 628.517.4.001

ВЛИЯНИЕ НЕЛИНЕЙНО-ВЯЗКОГО ТРЕНИЯ ПРИ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЯХ ДИЗЕЛЯ, УСТАНОВЛЕННОГО НА ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИЕ ОПОРЫ С КОМПЕНСАТОРАМИ ЖЕСТКОСТИ

ФГОУ ВПО «Новосибирский государственный аграрный университет»
ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

С.Н. Бурков, А.М. Ефремов

Предложено аналитическое решение задачи о вынужденных колебаниях дизеля, установленного на виброизолирующие опоры с компенсаторами жесткости, при нелинейных силах трения.

При исследовании вынужденных колебаний дизеля, установленного на виброизолирующие опоры, принято силу трения в дифференциальном уравнении движения считать величиной пропорциональной скорости. Это объясняется тем, что влияние трения на вынужденные колебания, происходящие вдали от резонансных режимов, обычно невелико, и в практических расчетах им чаще всего пренебрегают. Однако вблизи резонанса учет трения становится необходимым: без этого ошибки в определении амплитуд вынужденных колебаний становятся недопустимо большими.

Следует отметить, что относительно прост анализ вынужденных колебаний систем с вязким трением при любом законе изменения возмущающей силы. Значительно сложнее исследования колебаний систем с нелинейным трением – даже в простейшем случае чисто гармонической возмущающей силы, приходится довольствоваться приближенным решением.

Точное решение задачи о вынужденных колебаниях при произвольных нелинейных силах трения затруднительно даже в простейшем случае действия моногармонической возмущающей силы. В этом случае дифференциальное уравнение движения дизеля, установленного на пневмогидравлические опоры представляется в виде

$$m \cdot \ddot{x} + R(\dot{x}) + c \cdot x = H \cdot \sin(\omega \cdot t). \quad (1)$$

В этом уравнении $R(\dot{x})$ – нелинейная сила трения, которая зависит от скорости \dot{x} .

Для приближенного метода решения этого уравнения воспользуемся методом энергетического баланса, т.е. заменим заданную нелинейную силу $R(\dot{x})$ эквивалентной в энергетическом отношении линейной силой $b_0 \cdot \dot{x}$; коэффициент b_0 будем искать из условия равенства работ, совершаемых обеими силами за один период

$$\int_0^T R(\dot{x}) \cdot \dot{x} dt = \int_0^T b_0 \cdot \dot{x} \cdot \dot{x} dt. \quad (2)$$

Далее приближенно примем, что и в общем случае нелинейного трения стационарный колебательный процесс описывается законом вида: $x = A \cdot \cos(\omega \cdot t)$. Тогда, очевидно

$$\dot{x} = -A \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t).$$

При этом уравнение энергетического баланса (2) можно записывать для полупериода $\frac{T}{2}$ колебаний, в течение которого скорость (а вместе с этим и сила $R(\dot{x})$) не меняет знак.

Итак

$$\int_0^T R(\dot{x}) \cdot \dot{x} dt = \int_0^{\frac{T}{2}} R(-A \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t)) \cdot (-A \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t)) dt = \left| \begin{array}{l} z = \omega \cdot t; dz = \omega \cdot dt \\ z(0) = 0; z\left(\frac{T}{2}\right) = \omega \cdot \frac{T}{2} = \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{T}{2} = \pi \end{array} \right| =$$

$$= -\int_0^{\pi} R(-A \cdot \omega \cdot \sin z) \cdot A \cdot \sin z dz; \int_0^T b_0 \cdot \dot{x} \cdot \dot{x} dt = A^2 \cdot b_0 \cdot \omega^2 \cdot \int_0^{\frac{T}{2}} \sin^2(\omega \cdot t) dt = A^2 \cdot b_0 \cdot \omega \cdot \int_0^{\pi} \sin^2 z dz =$$

$$= \frac{A^2 \cdot b_0 \cdot \omega}{2} \cdot \int_0^{\pi} (1 - \cos(2z)) dz = \frac{\pi \cdot A^2 \cdot b_0 \cdot \omega}{2}.$$

Тогда

$$-A \cdot \int_0^{\pi} R(-A \cdot \omega \cdot \sin z) \cdot \sin z dz = \frac{\pi \cdot A^2 \cdot b_0 \cdot \omega}{2}.$$

Отсюда следует формула, определяющая эквивалентный коэффициент трения

$$b_0 = -\frac{2 \cdot \int_0^{\pi} R(-A \cdot \omega \cdot \sin z) \cdot \sin z dz}{\pi \cdot A \cdot \omega}. \quad (3)$$

После того как коэффициент b_0 найден, задача сводится к рассмотрению линейной системы, движение которой определяется дифференциальным уравнением

$$\ddot{x} + 2 \cdot h \cdot \dot{x} + k^2 \cdot x = \frac{H}{m} \cdot \sin(\omega \cdot t). \quad (4)$$

Как известно, соответствующая этой задаче формула для амплитуды колебаний представляется в виде

$$A = \frac{H}{c \cdot \sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{k^2}\right)^2 + \frac{4 \cdot h^2 \cdot \omega^2}{k^4}}},$$

$$c = m \cdot k^2. \quad (5)$$

где

Из (1) и (4) следует

$$h = \frac{b_0}{2 \cdot m} \quad \text{и} \quad k^2 = \frac{c}{m}. \quad (6)$$

Подставим (6) в (5) и получим формулу для амплитуды колебаний в случае «нелинейного» трения (дифференциальное уравнение (1))

$$A = \frac{H}{c \cdot \sqrt{\left(1 - \frac{m \cdot \omega^2}{c}\right)^2 + \left(\frac{b_0 \cdot \omega}{c}\right)^2}}. \quad (7)$$

В отличие от (5) в формуле (7) неизвестная амплитуда A входит не только в левую часть равенства, но и в правую часть, так как коэффициент b_0 зависит от той же амплитуды A .

В связи с этим соотношение (7) следует рассматривать не как формулу, а как уравнение для определения амплитуды A , или как неявно заданную функцию.

Для определения резонансной амплитуды положим в (7) $\omega = \sqrt{\frac{c}{m}}$; тогда уравнение примет вид

$$b_0 = \frac{H}{A \cdot \omega}. \quad (8)$$

Нужно отметить, что в рассматриваемой задаче амплитуда вынужденных колебаний не пропорциональна амплитуде возмущающей силы.

При обработке опытных виброграмм чаще всего обнаруживается, что убывание амплитуд не следует закону геометрической прогрессии; это служит признаком того, что трение отличается от линейно-вязкого. Нелинейная зависимость сил трения от скорости может быть описана различными аналитическими выражениями. Часто принимают на практике, что обобщенная сила трения $R(\dot{x})$ пропорциональна n -ой степени скорости, причем показатель степени $n \neq 1$ зависит от конкретных свойств силы трения; эту зависимость записывают в форме

$$R(\dot{x}) = b \cdot |\dot{x}|^{n-1} \cdot \dot{x}. \quad (9)$$

Для дальнейших рассуждений и возьмем за $R(\dot{x})$ выражение (9). Следует отметить, что при $n = 1$ мы получаем обычное вязкое трение $R(\dot{x}) = b \cdot \dot{x}$, которое часто и используется на практике в решении уравнения (1); а при $n = 2$ получается $R(\dot{x}) = b \cdot |\dot{x}| \cdot \dot{x}$ так называемое «турбулентное трение».

Вычислим эквивалентный коэффициент трения. Числитель выражения (3) будет равен

$$2 \cdot \int_0^{\pi} b \cdot (-A \cdot \omega \cdot \sin z)^n \sin z dz = -4 \cdot A^n \cdot \omega^n \cdot b \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^{n+1} z dz. \quad (10)$$

Входящий в выражение (10) интеграл – это эйлеров интеграл второго рода. Он выражается через гамма-функцию Γ следующим образом

$$J(n) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^{n+1} z dz = \frac{2^{n-2} \cdot n \cdot \Gamma^2\left(\frac{n}{2}\right)}{(n+1) \cdot \Gamma(n)}. \quad (11)$$

Гамма-функция Γ табулирована. С помощью таких таблиц можно вычислить следующие значения $J(n)$ в зависимости от показателя n (таблица 1)

Таблица 1 – Значение $J(n) = f(n)$

n	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
$J(n)$	1,000	$\frac{7}{8} = 0,875$	$\frac{\pi}{4} = 0,785$	0,718	$\frac{2}{3} = 0,667$	0,624	0,589

Подставляя (10) и (11) в выражение (3) мы получаем при этих условиях следующий эквивалентный коэффициент вязкого трения

$$b_0 = \frac{4 \cdot b \cdot J(n)}{\pi} \cdot (A \cdot \omega)^{n-1}. \quad (12)$$

Подставляя выражение (12) в (8) мы получаем для данного случая формулу для определения резонансной амплитуды

Бурков С.Н.,
Ефремов А.М.

$$A = \frac{1}{\omega} \cdot \sqrt[n]{\frac{\pi \cdot H}{4 \cdot b \cdot J(n)}} \quad (13)$$

Графики зависимости резонансной амплитуды от частоты ω представлены на рисунке 1.

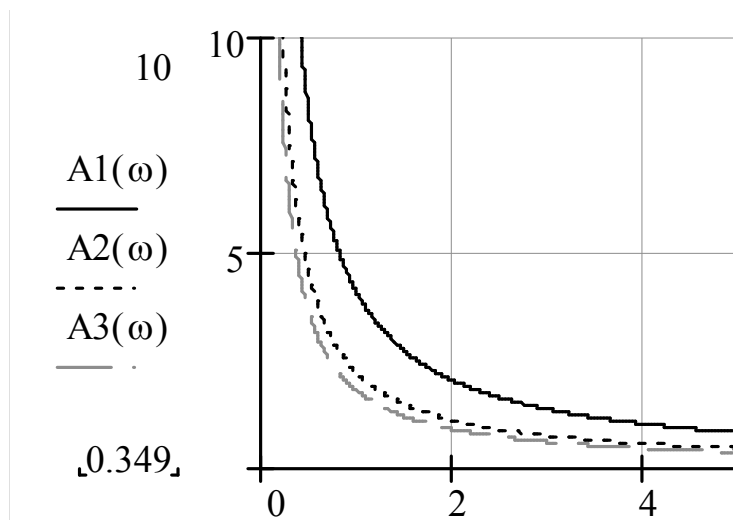


Рисунок 1 – Зависимость резонансной амплитуды от частоты

$$I(n) = \int_0^{\pi/2} (\sin x)^{n+1} dz ;$$

$$A1(\omega) = \frac{\pi H}{4bI(1)\omega} ;$$

$$A2(\omega) = \frac{\sqrt{\frac{\pi H}{4bI(2)}}}{\omega} ;$$

$$A3(\omega) = \frac{\sqrt[3]{\frac{\pi H}{4bI(3)}}}{\omega} ,$$

где $A1(\omega)$ – график зависимости резонансной амплитуды от частоты ω для $n=1$, случай вязкого трения;

$A2(\omega)$ – график зависимости резонансной амплитуды от частоты ω для $n=2$, случай «турбулентного» трения;

$A3(\omega)$ – график зависимости резонансной амплитуды от частоты ω для $n=3$.

Из графика видно, что чем больше показатель нелинейности n , тем «ниже» расположение графика функции. Вероятно, что введение нелинейности силы трения позволяет более точно определять амплитуды вынужденных колебаний вблизи резонанса.

Авторы считают, что результаты, полученные в этой статье, будут полезны при исследовании таких сложных механизмов как компенсаторы жесткости. Так как, например, при исследовании вынужденных колебаний дизеля, установленного на пневмогидравлические опоры следует учитывать не только нелинейность восстанавливающей силы [1], но и нелинейность сил трения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бурков, С.Н. Вынужденные колебания виброизолирующего механизма с пневмогидравлическим компенсатором жесткости [Текст]: / С.Н. Бурков // Судовождение-2000: Сб. на-

учн. тр. Новосиб. акад. водн. трансп. // -Новосибирск, 2000. -С. 141-146.

2 Хронин, Д.В. Теория и расчет колебаний в двигателях летательных аппаратов
[Текст]: / Д.В. Хронин // -М.: Машиностроение, 1970. -410 с.

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.824.004

ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ВОССТАНОВЛЕННЫХ НАПЛАВКОЙ

Новосибирское высшее военное командное училище

В.П. Ледвягин

Дана краткая структурная характеристика трибослоев, сформированных в процессе восстановления деталей наплавкой как наиболее распространенного из методов воздействия на поверхность конструкционных сталей направленными потоками энергии и вещества. Показана причина зарождения дефектов кристаллического строения модифицированных поверхностных слоев, обуславливающая формирование электрохимического потенциала восстановленной поверхности трения. Представлена зависимость стационарного потенциала стали 25Х5М при растворении в водном 0,1н растворе серной кислоты и соответствующая износостойкость формируемой структуры от энергии наплавки (ЭИЛ) для трех различных материалов электродов легирования.

Изменения структуры и состава поверхностного слоя материала деталей при наплавке. При электродуговой наплавке на нагрев детали расходуется около 60% тепловой энергии, выделяющейся в сварочной дуге. Остальное тепло расходуется на нагрев расплавленной части электрода, рассеивание в окружающее пространство в результате конвективного и лучевого теплообменов. Та часть тепла, которая поступает в металл детали, в соответствии с исследованиями Н.Н. Рыкалина [3], по поверхности и его толщине распределяется неравномерно, рисунок 1.

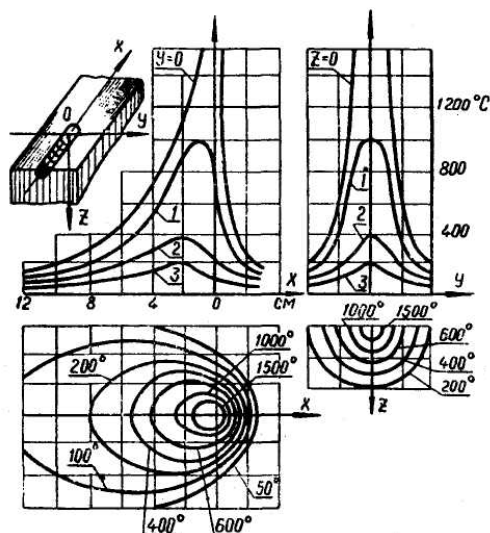


Рисунок 1 – Характер распределения тепла при сварке (наплавке)

Структура наплавленного металла и зоны термического влияния зависят от скорости охлаждения при температуре наименьшей устойчивости аустенита, рисунок 2. При сварке и наплавке среднеуглеродистых сталей в зоне термического влияния различают следующие структурные участки: неполного расплавления, перегрева, нормализации, неполной перекристаллизации и отпуска.

Размеры зон термического влияния зависят от химического состава свариваемого металла, способа сварки и ее режима. Наибольшие размеры (25-30 мм) имеет зона термического влияния при газовой сварке. При электродуговой ручной сварке она равна 3-5 мм. С увеличением тока зона термического влияния увеличивается, а с увеличением скорости сварки – уменьшается. В процессе сварки в наплавленном слое и в зоне термического влияния основного металла могут образоваться микроскопические трещины двух видов: горячие и холодные. Размеры зон термического влияния можно значительно уменьшить выбором режимов сварки, применением обратной полярности и правильным ведением процесса сварки.

Горячие трещины, возникающие при температурах выше точки, соответствующей началу распада аустенита всегда проходят по межкристаллическим прослойкам зерен металла, образуя дислокационную мозаику.

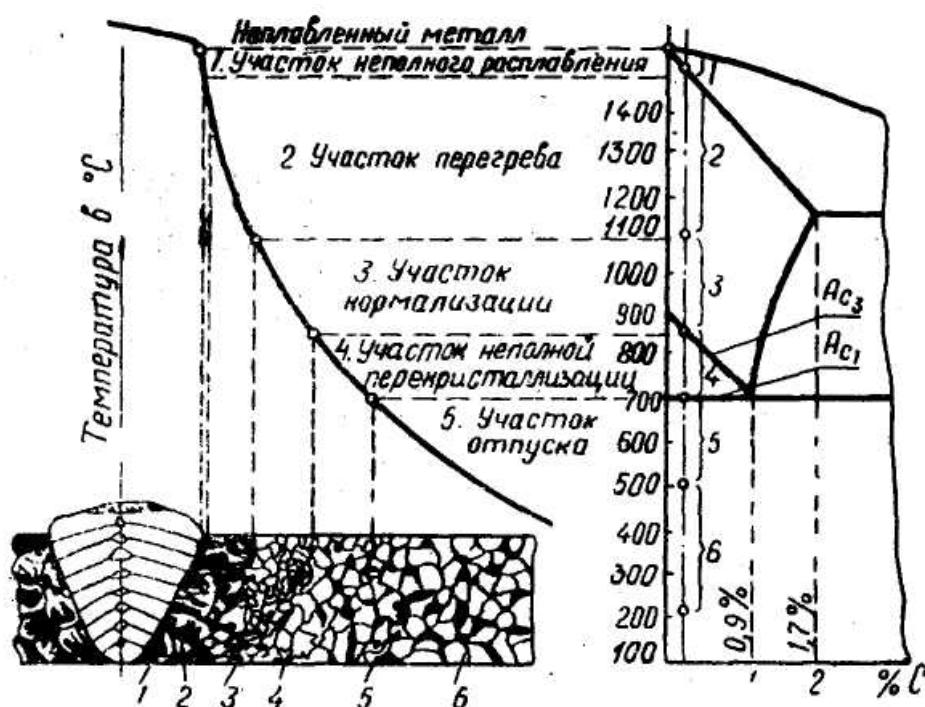


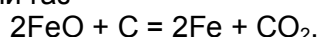
Рисунок 2 – Температурные границы участков зоны термического влияния при сварке среднеуглеродистой стали

Важной характеристикой является плотность дислокаций на единицу объема

$$\rho = \sum \frac{l}{V}, \text{ см}^2.$$

Кроме того, при расплавлении металла электрической дугой наблюдаются процессы окисления наплавленного металла, частичное выгорание легирующих компонентов, насыщение его газами (водородом, кислородом, азотом), которые, бурно расширяясь, вызывают его разбрызгивание.

Например, в процессе наплавки, в результате реакции восстановления окислов железа углеродом, образуется углекислый газ



Потери электродного металла за счет разбрызгивания могут достигать 40-50%. Установлено, что оно увеличивается с повышением силы сварочного тока и увеличением длины

дуги [3]. Термодинамика и механохимия других аналогичных процессов воздействия на конструкционные стали направленными потоками энергии, и вещества принципиального отличия по формированию трибослоев не имеют.

Таким образом, наплавленный слой значительно отличается от подложки и по структуре и по составу. Поэтому актуальным является вопрос поиска эффективных методов исследования свойств сформированных поверхностных слоев (ПС).

Потенциометрическая характеристика триботехнических свойств легированных ПС. В соответствии с исследованиями, выполненными в Амурском государственном университете в конце 90-х годов одной из характеристик триботехнических свойств, сформированных слоев направленными потоками энергии и вещества, является химический потенциал ПС в коррозионноактивной среде. Известно, что плотность дислокаций является адгезионным показателем степени притяжения в свою зону чужеродных атомов [1]. Этот процесс происходит в том случае, если они снижают уровень упругих искажений структуры. Измерение стационарного потенциала в лабораторных условиях осуществляют с помощью цифрового вольтметра для измерения рН относительно стандартного электрода сравнения. На рисунке 3 и 4 представлена зависимость изменения стационарного потенциала и интенсивности износа восстановленной детали из стали 25Х5М в водном растворе серной кислоты, после легирования (ЭИЛ) тремя различными электродами в зависимости от энергии процесса.

Максимальное смещение электрохимического потенциала в положительную область происходит при легировании одноименным с подложкой электродом, кривая 4. Формируется структура с микропорами нигматического вида, которые в смазочной среде действуют как тонкие капилляры, обеспечивая подачу смазочного материала в зону трибологического контакта, снижается концентрация свободных электронов, смещая стационарный потенциал в анодную область. Перестройка кристаллической решетки происходит в последовательности:

самоорганизация → высокий порядок → низкая энтропия

и заканчивается созданием низкоэнтропийной поверхностной структуры [2].

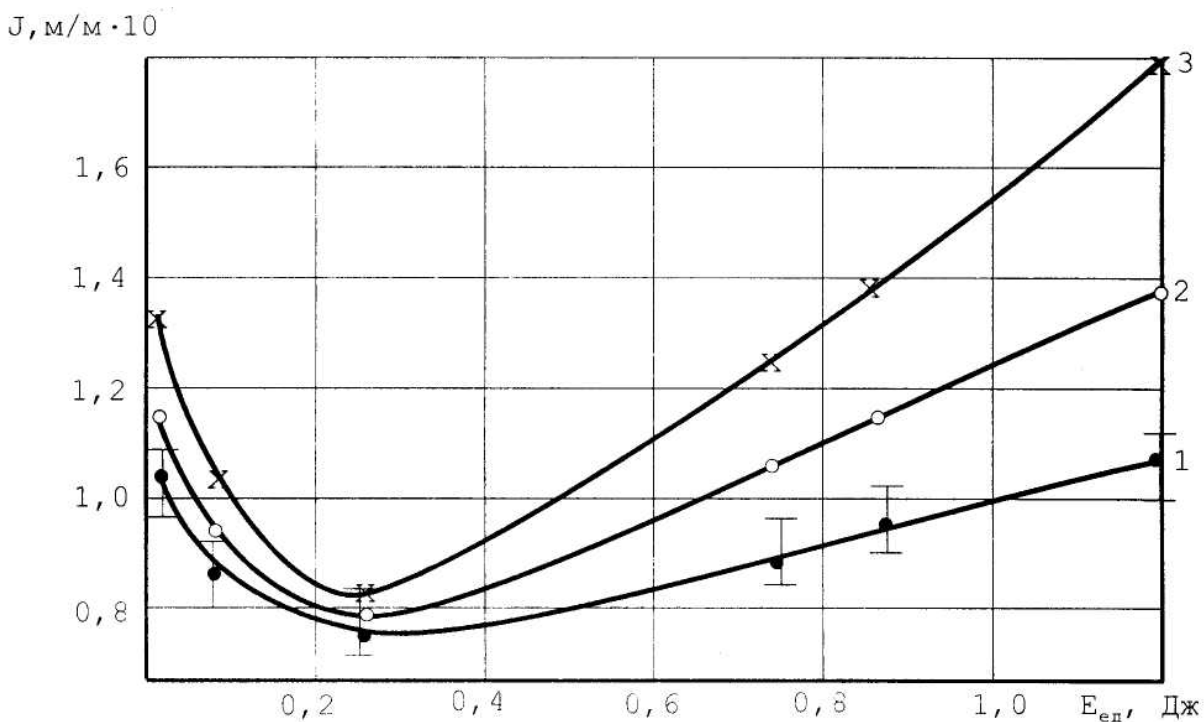


Рисунок 3 — Зависимость интенсивности износа ЛС упрочненной стали 25Х5М. Водный 0,1н раствор H_2SO_4 (материалы электродов легирования: 1 - Т15К6; 2 - ВК6; 3 - 12Х18Н10Т)

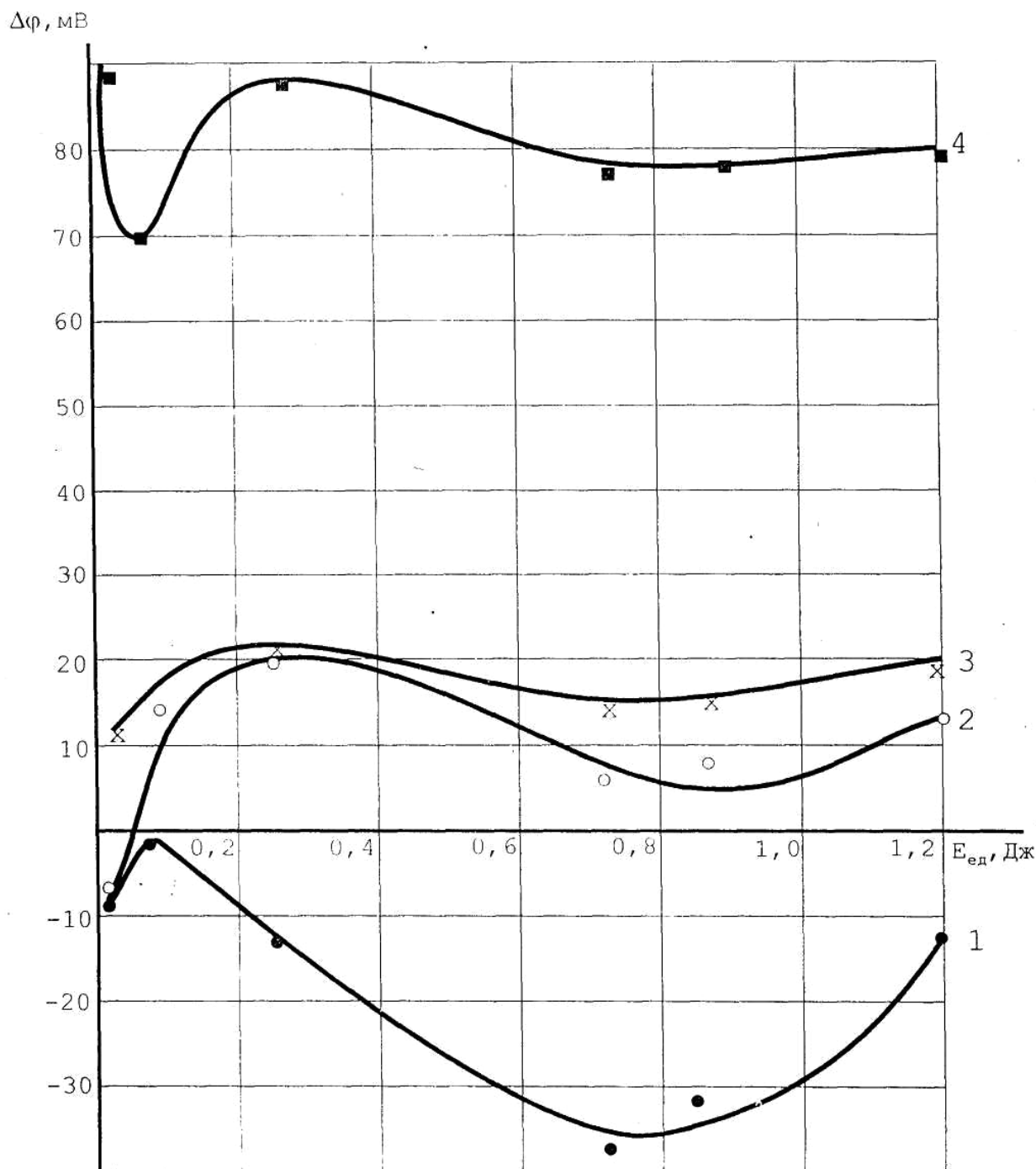


Рисунок 4 – Зависимость стационарного упороченной стали 25X5M. Водный 0,1н раствор H₂SO₄ (материалы электродов легирования: 1 - Т15К6; 2 - ВК6; 3 - 12Х18Н10Т; 4 - 25Х5М)

При этом устраняется неблагоприятный фактор взаимной нерастворимости материалов анода и катода.

Сравнительный анализ представленных трех других зависимостей показывает, что наблюдается процесс разблагораживания стационарного потенциала, который связывается с образованием пористой структуры и микрогальванопар между материалом детали и легирующими компонентами электродов. Видно, что изменение химического потенциала зависит от энергии легирования, носит немонотонный (экстремальный) характер, коррелирует с ха-

рактором протекания кривых износостойкости сформированных слоев и свидетельствуют о том, что с повышением потенциала износостойкость модифицированной поверхностной структуры при трении в режиме граничной смазки возрастает. Смещение стационарного потенциала в анодную область в случае легирования одноименным с подложкой материалом электрода связывается с наведением дефектов кристаллического строения и процессами отдыха.

Таким образом, несложный потенциометрический метод позволяет в первом приближении производить диагностическую характеристику износостойкости легированных поверхностных слоев априори даже без уточнения материала электродов легирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Лахтин, Ю.М.** Материаловедение и термическая обработка металлов [Текст]: / Ю.М. Лахтин // -М.: Металлургия, 1975. -405 с.
- 2 On Self . Organistion. (Eds R.K. Mishra, D. Maab, E. Zwierlein). -Sprienger-Verlang, Berlin, 1994.
- 3 **Марютин, М.И.** Технология ремонта бронетанковой техники [Текст]: / М.И. Марютин // -М.: АК БТВ, 1973. -589 с.

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.431.74-44

КАВИТАЦИОННЫЙ ТЕРМИЧЕСКИЙ ГАЗОВЫЙ ГЕНЕРАТОР ДЛЯ ГАЗИФИКАЦИИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

С.В. Титов, Г.С. Юр

Приведена схема, общий вид и описание конструкции термического кавитационного газового генератора предназначенного для газификации жидких топлив применяющихся на флоте. Выполнен хроматографический анализ полученного в генераторе газообразного продукта.

Одним из наиболее эффективных способов сокращения содержания окислов азота в отработавших газах дизелей является 10-15% наддув водородосодержащим газом. Этот способ позволяет уменьшить концентрацию этих веществ в серийных дизелях с камерой сгорания в поршне в 4-5 раз, что недостижимо при использовании других известных способов [1].

Для получения водородосодержащих газов широкое распространение получил метод газификации жидкого топлива в специальных реакторах путем неполного окисления легких углеводородных топлив при коэффициентах избытка воздуха равных 0,1-0,5. В результате неполного сгорания топлива образуется газ, в состав которого входят водород, оксид углерода, а также различные другие газообразные углеводородные соединения.

Например, в лаборатории реактивных установок ведомства НАСА (США) и в фирме «Siemens» (Германия) прошли испытания экспериментальных установок для газификации прямогонных бензинов, предназначенные для размещения на автомобилях [2]. В Институте газа АН УССР разработана и испытана малогабаритная передвижная установка для двухступенчатой паровой конверсии бензина. В качестве сырья для термокаталитической конверсии, наряду с бензином можно использовать метанол. Катализаторами служат различ-

ные цинк-хром-медные материалы.

Однако, для судовых условий такие установки непригодны. Прежде всего, это связано с тем, что Правилами Российского Речного Регистра запрещено хранение и использование топлив с температурой вспышки менее 61 °С. Кроме этого известно, что при сжигании дизельных топлив в условиях недостатка окислителя имеет место интенсивное образование частиц сажи. Эти частицы, осажаясь внутри корпуса реактора и на катализаторе, могут не только существенно затруднить, но и сделать невозможной эксплуатацию реакторов-газификаторов.

Для исследования способа получения водородосодержащего газа из моторных топлив, применяемых на флоте, в лаборатории СДВС спроектирована и изготовлена опытная модель кавитационного термохимического генератора, схема которого приведена на рисунке 1, а общий вид изображен на рисунке 2.

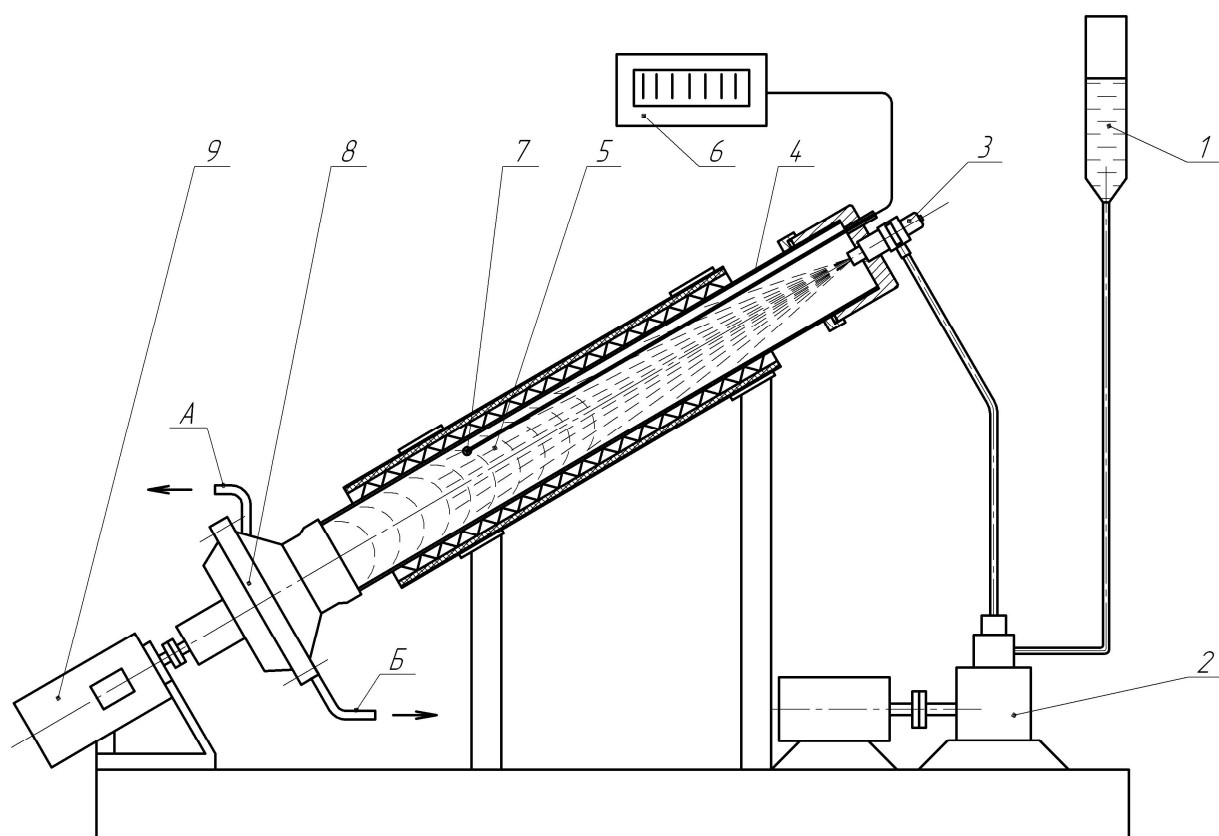


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

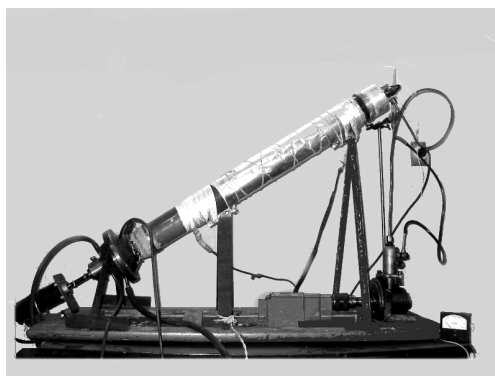


Рисунок 2 – Общий вид кавитационного термического газового генератора

Топливо из мерной емкости 1 насосом высокого давления 2 при помощи форсунки 3

**КАВИТАЦИОННЫЙ ТЕРМИЧЕСКИЙ ГАЗОВЫЙ ГЕНЕРАТОР
ДЛЯ ГАЗИФИКАЦИИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА**

распылялось в корпусе реактора 4 в нагретую газовую среду. Нагрев газа в реакторе осуществлялся при помощи электрического нагревателя 5. Температура газа контролировалась потенциометром 6 и хромель-алюмелевой термопарой 7.

Для осуществления процесса газификации в корпусе реактора при помощи газодинамического звукового генератора 8 возбуждались газодинамические колебания. Привод ротора генератора осуществлялся электродвигателем 9. Частота вращения вала электродвигателя регулировалась автотрансформатором.

Отбор проб газообразного продукта осуществлялся по патрубку А, а жидкой фазы по патрубку Б.

Испытания опытной модели генератора показали возможность использования в качестве сырья дизельного топлива, мазута 40 и их эмульсий с водой.

В таблице 1 приведены результаты хроматографического анализа полученного в реакторе газообразного продукта.

Таблица 1 – Химический состав газа полученного из дизельного топлива
ГОСТ 305-82 «Л», %

Компонент	%	Компонент	%
водород	5,97	изобутен	1,46
двуокись углерода	6,504	цис-2-бутен	0,26
этилен	18,97	неопентан	0,011
этан	5,07	изопентан	1,64
кислород/аргон	8,98	н-пентан	1,37
метан	16,45	1,3-бутадиен	0,64
окись углерода	18,51	3-метил-1-бутен	0,25
пропан	0,61	т-2-пентен	0,103
пропилен	8,17	2-метил-2-бутен	0,77
ацетилен	0,014	1-пентен	0,31
изобутан	0,042	неогексан	0,23
пропадиен	0,09	н-гексан	0,48
бутан	0,28	н-гептан	0,05
т-2-бутен	0,44	бензол	0,02
1-бутен	2,36		

Из приведенных в таблице данных видно, что основными компонентами газовой смеси являются водород, метан, этан, этилен, и пропилен.

Количество неиспарившегося продукта не превышало 3-5% от объема поданного в реактор сырья. Оставшийся продукт пригоден для вторичной переработки в генераторе с последующим выходом водородосодержащего газа не менее 95% от количества поданного сырья.

Проведенные нами испытания показали работоспособность предложенной конструкции термического кавитационного генератора и возможность осуществления процесса газификации моторных топлив используемых на судах речного флота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Новиков, Л.А.** Основные направления создания малотоксичных транспортных двигателей [Текст]: / Л.А. Новиков // Двигателестроение. №2-3. 2003. -С. 23-27.

2 **Терентьев, Г.А.** Моторное топливо из альтернативных сырьевых ресурсов [Текст]: / Г.А. Терентьев, В.М. Тюков, В.Ф. Смаль // -М.: Химия. 1989. -272 с.

УДК 621.499-6«313»

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ВИДЫ ТОПЛИВА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

О.И. Шелудяков

Проведен анализ применения альтернативных видов топлива на транспортных энергетических установках. Дана их сравнительная оценка по эксплуатационным, экономическим и экологическим критериям.

Глобальный энергетический кризис в первую очередь ударит по транспорту в силу следующих обстоятельств:

- 1 Транспорт потребляет 90% всех производимых нефтепродуктов.
- 2 Транспортные средства нуждаются в значительном запасе хода без дозаправки топливом. Автомобили до 300 км, морские суда и самолеты до 10000 км.
- 3 Запас топлива на борту наземного транспортного средства или грузового судна должен занимать не более 10 % от его грузоподъемности.
- 4 Скорость транспортных средств должна быть такой, чтобы обеспечить сохранность скоропортящихся грузов, скорейшую и комфортную доставку пассажиров.
- 5 Твердые, жидкие и газообразные отходы топлива (продукты сгорания или другой энергетической переработки) должны быть безопасны для биосферы.

Исходя из этих обстоятельств, требования к топливу транспортных средств:

- Низшая теплота сгорания топлива не ниже 10000 кДж/кг.
- Плотность топлива не ниже 500 кг/м³.
- Сохраняемость топлива не менее 100 суток при температуре от +50 до -50 °С и влажности от 10 до 100%.
- Топливо должно быть жидким или газообразным для удобства его перевозки, bunkеровки (заправки) и использования.

Эти требования продиктованы законами развития общества и объективными законами термодинамики, согласно которым пульсированный КПД транспортной установки не превышает 40%.

Усовершенствованием процесса сгорания топлива и установкой различных регенераторов и утилизаторов теплоты можно значительно повысить эффективность энергетических установок. Однако эти мероприятия значительно утяжеляют энергетические установки и делают их непригодными к использованию на транспорте.

Итак, рассмотрим наиболее распространенные горючие материалы, соответствующие вышеизложенным требованиям за исключением нефтепродуктов и их производных, в том числе газоконденсата.

Рассмотрим продукты крекинга каменного угля, этанол, метан, диметиловый эфир, растительное масло и электрические аккумуляторы.

Каменный уголь и его производные. Каменный уголь делится на два основных типа: коксующийся (антрацит) и энергетический (низкосортный). Они различаются теплотворной способностью и выходом летучих фракций.

При нагревании каменного угля без доступа кислорода до температуры около 400 °С происходит его термический крекинг (разложение). Образуется коксовый газ (угарный газ в смеси с водородом и парами воды), каменноугольный бензин, каменноугольный керосин и остаточный продукт.

Если крекингу подвергается антрацит, то остаточным продуктом является кокс – ценное

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ВИДЫ ТОПЛИВА

сырье для металлургии, если крекингу подвергался низкосортный уголь, то остаточный продукт – шлак.

Выход бензина и керосина составляет от 7 до 15%.

Запасы угля огромны. Его добыча сравнительно дешева. Однако чтобы получить 100 кг бензина и керосина необходимо не только подвергнуть крекингу тонну угля, но и сжечь при этом еще полтонны угля. Таким образом, стоимость каменноугольных жидких топлив будет весьма высока. Кроме того, сжигание дополнительного количества угля приведет к еще большему ухудшению глобальной экологической ситуации.

Каменноугольные жидкие топлива обладают узким фракционным составом и по отдельным качествам превосходят нефтепродукты.

Широкое производство каменноугольных топлив экономически целесообразно при повышении цен на нефть более чем в пять раз.

Этанол. Этанол в настоящее время производят синтетическим и традиционным способом. При синтетическом способе производства этанола исходным сырьем служит этан – предельный углеводород, содержащийся в природном и попутном газе. Его концентрация в этих газах невелика и производство синтетическим способом не находит промышленного значения.

Традиционно этанол получают из растительного сырья: целлюлозы, крахмала и углеводов.

Из целлюлозы получают технический этанол и денатурат. Этот процесс сопровождается сложными биохимическими процессами, требующими затрат теплоты, соизмеримых с теплотворной способностью самого этанола. То есть для получения килограмма этанола необходимо затратить столько теплоты, сколько ее выделяется при сгорании этого самого килограмма этанола.

Из крахмала также получают технический этанол и денатурат. Технология производства этанола этим методом менее затратна и более проста.

Наиболее проста и малозатратна технология получения технического этанола из растительного углеводного сырья. Однако такое сырье произрастает в тропическом, субэкваториальном и экваториальном климате.

Достоинства этанола: экологичность выхлопа, инертность к металлам и резине, малая токсичность, отсутствие серы и смол, хорошая текучесть и испаряемость.

Недостатки этанола: низкая по сравнению с нефтепродуктами теплотворная способность, гигроскопичность.

В странах Латинской Америки часть автотранспорта использует этанол.

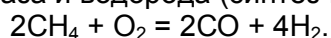
Широкое использование этанола в качестве моторного топлива транспортных двигателей целесообразно при повышении цен на нефть в два...три раза.

Метан. Природный газ состоит на 90 % из метана, поэтому в дальнейшем будем рассматривать именно его.

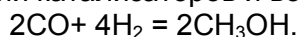
Природный газ уже используется как топливо для двигателей городских автобусов. Достоинства и недостатки природного газа широко освещены в современных научных изданиях. Важными недостатками, мешающими широко использовать метанол на транспорте являются малая теплотворная способность единицы объема газа, большая масса газовых баллонов, малый запас хода и низкая мощность поршневых ДВС, работающими на этом газе.

Широкое использование природного газа в качестве моторного топлива целесообразно при повышении цены на нефтепродукты в полтора...два раза.

Диметиловый эфир. Диметиловый эфир в научной литературе часто называют диметилэфир. Это несложное горючее соединение получают следующим способом. Природный газ в присутствии катализатора и кислорода при повышенных температурах и давлениях превращается в смесь угарного газа и водорода (синтез-газ).

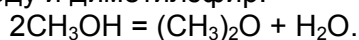


Синтез-газ далее в присутствии катализаторов и воды превращается в метанол.



Этот простой спирт является сильным ядом и не используется в качестве топлива, хотя и является горючим. Далее метанол в присутствии другого катализатора, также при высоких

температурах разлагается на воду и диметилэфир.



По теплотворной способности диметилэфир ниже нефтепродуктов, но выше этанола. Хранение и перевозка этого топлива несложны, так как он сжижается при невысоком давлении. Достоинства диметилэфира это отсутствие серы, хорошая испаряемость и малотоксичность.

В настоящее время диметилэфир уже широко используется в некоторых странах Западной Европы в качестве моторного топлива по циклу Отто (бензиновый цикл). Однако известно, что более экономичным циклом является цикл Дизеля.

Дизельные моторные качества диметилэфира в настоящее время малоизучены. Известно лишь, что цетановое число метанола очень высоко и составляет 60...70 единиц.

Растительное масло. Работа ДВС по дизельному циклу на растительном масле нашла применение в сельскохозяйственной технике в ряде южных областей Российской Федерации. Работа ДВС на таком топливе имеет ряд существенных недостатков, а именно: растительное масло склонно к образованию твердого осадка фосфатов, который может засорить топливную систему ДВС, при высоких температурах растительное масло превращается в олифу, что ведет к неисправности топливной системы.

Указанные недостатки отчасти компенсируются добавкой в масло дизельного топлива или метанола.

Высокомолекулярный состав растительного масла значительно повышает его температуру застывания.

Широкое использование растительного масла в качестве моторного топлива целесообразно при повышении цены на нефтепродукты в полтора-два раза.

Электрические аккумуляторы. Электродвижение транспортных средств путем использования постоянного тока от химических аккумуляторов не получило в настоящее время широкого распространения в связи со следующими недостатками:

- малая емкость аккумуляторов сокращает запас хода до нескольких десятков километров,
- большая масса аккумуляторов снижает скорость движения транспортных средств и значительно сокращает провозную способность транспортного средства,
- невозможна быстрая зарядка аккумуляторных батарей.

Но в связи с современным уровнем развития радиотехники и широким применением малогабаритных и энергоемких литиевых аккумуляторов возникла реальная возможность применения таких аккумуляторов для наземных и надводных (подводных) транспортных средств.

Основным фактором, сдерживающим применение этих батарей, является их высокая стоимость.

Выводы. Перспективным топливом для дальнейшего исследования и применения является растительное масло и диметилэфир, поскольку они позволяют применять в ДВС наиболее экономичный дизельный цикл.

С экономической точки зрения цена растительного масла более зависит от цены на нефтепродукты, чем цена на диметилэфир. Точные прогнозы здесь невозможны, поскольку еще не начато производство диметилэфира в широких промышленных масштабах.

С экологической точки зрения все альтернативные топлива (кроме каменноугольных) на порядок лучше нефтяных.

УДК 555.32

МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА ОРГАНИЗМ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

И.С. Балахонов, А.Н. Нефёдкин, И.Н. Яичникова

Рассмотрено биологическое действие радиации лазеров на живой организм. Первичной мишенью для лазерного луча являются одновременно молекулярный, клеточный и тканевые уровни. При частотном диапазоне 30-300 Гц в силу импульсного воздействия монохроматического когерентного луча в точке радиации развивается мгновенный тепловой ожог, ведущий к локальному повышению температуры. Возникает точечный взрыв с ударной волной распространения, (глаз, череп, грудная клетка, сердце и другие жизненно важные органы могут быть разрушены в замкнутом пространстве их состояний).

ЛАЗЕР (LASER, сокращение слов английской, фразы Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation - усиление света в результате вынужденного излучения), устройство, преобразующее различные виды энергии (электрическую, световую, химическую, тепловую и др.) в энергию когерентного электромагнитного излучения. В основе работы Лазера лежит процесс вынужденного испускания электромагнитного излучения (фотонов) атомами и др. квантовыми системами, находящимися в возбужденных состояниях.

Используется лазер в наши дни очень широко: и в военных целях, и при защите продукции (голограммы), и в компьютерной технике. Но мы рассмотрим другой вид его использования – использование лазера в медицине.

Механизм биологического действия радиации лазеров. Результаты взаимодействия лазерного луча с биологическими структурами в значительной мере определяются свойствами биообъекта (отражающая и поглощающая способность).

Отражающая и поглощающая способность включает в себя: теплоемкость; теплопроводность; скрытую удельная теплота парообразования; акустические свойства; механические свойства.

На эти свойства также влияют параметры лазерного излучения: длина волны, частота колебаний, энергия и ее плотность, мощность и интенсивность, степень когерентности и поляризации (таблица 1).

Цепь патогенетических процессов в биологическом субстрате под влиянием лазерной радиации начинается с поглощением энергии. Однако биообъекты поглощают лишь часть падающего на них лазерного облучения, происходит процесс поляризации в результате чего изменяется направленность электрических и магнитных полей.

Высокое содержание воды в биологических тканях уравнивает их коэффициент преломления.

Термический эффект является одним из важнейших факторов взаимодействия лазерной радиации с биологическими тканями. Лазерное поражение имеет сходство с ожогом, возникает под влиянием токов высокой частоты. Отличие заключается в резкой ограниченности пораженной лазером области от смежной с ней интактной, что объясняется кратковременностью лазерного импульса. Мгновенно выделяющееся тепло не успевает распространиться за пределы облученного участка также в связи с низкой теплопроводностью биологических тканей. Специфичностью действия лазерной радиации является и значительная избирательность повреждения пигментированных структур, особенно в печени.

Возможно несколько механизмов возникновения под влиянием лазерной радиации

ударных эффектов, которые в наиболее общем виде характеризуются появлением в системе градиента давления. Испарение и извержение частиц поврежденного лучом участка ведет к образованию механического импульса, направленного по ходу луча лазера. При этом извергнутые с поверхности облучаемой ткани частицы распространяется со скоростью около 100 м/с, а температура очага поражения, например печени, достигает 132 °С.

Таблица 1 – Опасные и вредные производственные факторы лазерных установок

Факторы	Класс лазерной установки			
	1	2	3	4
Лазерное излучение: – прямое, зеркальное отражение – диффузно отраженное	– –	+ –	+ +	+ +
Электрическое поле	–(+)	+	+	+
Ультрафиолетовое излучение	–	–	–(+)	+
Инфракрасное излучение	–	–	–(+)	+
Яркость света	–	–	–(+)	+
Электромагнитное излучение ВЧ-и СВЧ-диапазон	–	–	–	–(+)
Ионизирующие излучение	–	–	–	+
Температура поверхностиоборудования	–	–	–(+)	+
Шум и вибрация	–	–	–(+)	+
Запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	–	–	–(+)	+
Аэрозоли	–	–	–	+

Другой механизм возникновения волны связан с тепловым объемным расширением облученного участка, образованием пара, когда тепло не успевает распространиться путем теплопродукции, конвекции и т.п. Ударная волна распространяется сначала со скоростью больше скорости звука, затем переходит в акустическую волну (скорость звука), наконец, – в механическую волну (меньше скорости звука).

В связи с образованием в биологическом материале ультразвуковых волн Давление ударной волны (длительность импульса 50 нс) достигало 106 атм. Упругие ударные волны (в отличие от резко локализованного лазерного ожога) способны убивать клетки на расстоянии, в пять и более раз превышающем диаметр обожженных тканей. Разрушения подобной волной в зонах замкнутых пространств (глаз, череп, грудная клетка, мочевого пузыря, сердце) более значительны, чем в структурах, не имеющих жестких границ.

Имеются данные о том, что при фокусировке лазерного луча на участке черепа размером в 1 мм² происходило нагревание черепа в точке фокуса приблизительно до 5700 °С. Это приводило к мгновенному превращению около 1 мг вещества переднее мозговой ткани в газообразное состояние, а также к резкому повышению давления внутри черепа (в течение 1 мс) до 20 атм, то есть внутричерепному взрыву.

Не исключено, что лазерное облучение усиливает механические поражения за счет давления света и эффекта электрострикции. Напряженность электрического поля, имеющего высокие пиковые значения мощности может составлять 107 В/см. Это приводит к возникновению не только электрического, но и фотоэлектрического и химического эффектов. Это показано на печени животных, облученных лазером. Установлено, что на субклеточном уровне наиболее чувствительными к лазерной радиации структурами являются мембранные компоненты клетки и, в первую очередь, эндоплазматический ретикулум.

Биологические эффекты действия лазерного излучения. Лазерное излучение не встречается в естественных условиях, поэтому оно является для любого живого организма искусственным раздражителем. К которому нет эволюционной защиты.

Под биологическим действием лазерного излучения понимают совокупность структур-

ных, функциональных, биохимических, иммунологических изменений, возникающих в живом организме в результате облучения монохроматическими когерентными лучами. Оно воздействует на весь организм, по наибольшему опасностью представляет для органов зрения [6-10].

Первичной мишенью для лазерного луча являются молекулярный, клеточный и тканевой уровни. Лазерное излучение вызывает следующие биологические эффекты: термический, ударный, светового давления, электрострикции, образование в пределах клетки микроволнового электрического поля [5-10].

Выше отмечалось, что результаты воздействия лазерного излучения на живой организм определяются как структурно-физиологическими свойствами отдельных тканей организма (отражающей и поглощающей способностью, скрытой удельной теплотой парообразования, акустическими и механическими свойствами), так и техническими характеристиками лазерного излучения, основными из которых являются энергия и импульсе, плотность, мощности, длина и частота волны, а сопутствующими – величина когерентности и поляризации.

Термический эффект является важнейшим фактором лазерного облучения. Он накладывает отпечаток на характер поражения облученного участка в целом. Обращает внимание концентрация Энергии излучения в глубоко расположенных слоях организма и концентрация разрушений в тканях, содержащих красящее вещество — меланин. Максимум поглощения электромагнитного излучения меланином находится в диапазоне длин волн 0,50-0,55 мкм, то есть в зоне излучения современных лазеров.

Специфическая окраска жизненно важных органов (печени и селезенки) приводит к тому, что они обладают наибольшей чувствительностью к действию узконаправленного луча аргонового лазера, генерирующего излучение (0,48 и 0,51 мкм) в видимой сине-зеленой области электромагнитного спектра. Ткани погибают в результате свертывания белков, причем первыми в облученной клетке организма разрушаются ферменты. Зависимость степени поражения от мощности излучения близка к линейной как для поверхностных слоев кожи, так и внутренних тканей и органов.

Достаточно мощными ОКР с биологической точки зрения следует считать лазеры, выходная энергия которых при длине волны от 0,48 до 10,6 мкм составляет 50 Дж и больше. Биологические последствия, в том числе и тепловое действие лазерного излучения определяется величиной мощности (плотность мощности), создаваемой на единице поверхности биологической ткани. Так, лазер мощностью всего 10 мВт может создать высокую плотность мощности на сетчатке глаза и ее болезненное поражение.

Эффект светового давления и электрификация [5-10]. Под электрификацией понимают деформацию тел во внешнем электрическом поле, пропорциональную квадрату его напряженности. Электростриксию следует отличать от обратного пьезоэлектрического эффекта, наблюдающегося в некоторых кристаллах (пьезоэлектриках), при котором деформация пропорциональна напряжению электрического поля (а не его квадрату).

Под воздействием лазерного излучения внутри клеток могут возникать не только электрические и фотоэлектрические связи, нарушается ход биохимических реакций за счет гибели ферментов. Фотохимические процессы ведут к образованию свободных радикалов.

Свободные радикалы обладают большой химической активностью, усиливают перекисное окисление липидов (ПОЛ) и разрушают клеточные мембраны. Имеются данные о том, что свободные радикалы нарушают естественную химическую основу изменения наследственности, а также возникновения некоторых форм рака и даже старения организма.

Причиной образования в тканях свободных радикалов под влиянием лазерного излучения большой энергетической плотности является создание электрического поля, напряженность которого для лазеров, имеющих исключительно высокие импульсные значения мощности, составляет 107-108 В/см. Для сравнения укажем, что по нашему законодательству интенсивность электромагнитных полей радиочастот на рабочих местах операторов по эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры не должна превышать 2×10^3 В/см по электрической составляющей в диапазоне частот 0,1-30 МГц и 500 В/см в диапазоне частот 30-300 МГц. Это предельно допустимые показатели.

Каждый фотон квантового излучения поглощается (поглощается) только одной молекулой, которая при этом становится возбужденной и представляет собой отправную точку

взаимодействия лазерного излучения с тканью. Энергия, полученная при этом молекулой, преобразуется во внутреннюю энергию движения в пределах данной молекулы, что, в свою очередь, приводит к образованию свободных радикалов или других форм энергии с индуцированием целой цепочки изменений в структурных изменениях клетки. Указанное явление носит название эффекта светового давления. Стабилизированные таким образом молекулы становятся активными и легко претерпевают различные превращения, приводящие в конечном итоге к гибели отдельных клеток и поражению ткани в целом.

Каждая отдельная молекула поглощает свет (в том числе и лазерное излучение) только одной строго определенной длины; для другой волны она является как бы прозрачной. Этим и объясняется избирательное действие лазерного излучения определенных длин волн на различные биологические ткани и органы [10].

Эффект воздействия сверхвысокочастотного поля. Во время работы мощных лазеров при разрядке ламп накачки возникает электромагнитное поле СВЧ; дециметровые, сантиметровые, миллиметровые волны. Воздействие этих волн на организм крайне неблагоприятно.

Действие ядовитых продуктов тканевого обмена и нелинейные оптические эффекты [10]. В механизме биологического действия лазерного излучения имеет место излучение на клетки и ткани ряда веществ, обладающих выраженными ядовитыми свойствами. Это внутренние яды (эндотоксин), возникающие в тканях после облучения (аутоинтоксикация).

В силу когерентности лазерного излучения и значительной напряженности электрического поля в тканях проявляются нелинейные оптические эффекты. Это процесс интенсивного многофотонного поглощения излучения молекулами ткани, которые перестают действовать как линейный диэлектрик и в них наблюдается образование гармоник проникающей радиации. Такой эффект представлен в зоне действия остросфокусированных лазерных лучей большой мощности. Аутоинтоксикация и нелинейные оптические эффекты в клетках биологической ткани усиливают отрицательное действие на организм теплового и ударного эффектов, эффектов светового давления и электрострикции.

Предельно допустимые дозы лазерного излучения. Лазерное излучение целесообразно нормировать дифференцированно [6], для различных диапазонов электромагнитных волн.

1 Ультрафиолетовая область: Энергия квантов ультрафиолетового излучения в диапазонах длин волн от 380 до 6 нм меняется в пределах от 3,26 до 123 эВ соответственно. Фотоны с энергией 12-15 эВ способны вызвать ионизацию воды и атомов кислорода, водорода, азота, углерода. Поскольку вода и указанные атомы составляют основу жизни, излучение с энергией 12 эВ можно рассматривать как нижний предел для высокоорганизованных биологических систем. Фотоны с энергией 12 эВ считаются неионизирующими.

Основные участки лазерного излучения в ультрафиолетовой области [7, 12]:

- дальний УФ-участок (6-190 нм) – излучение, которое поглощается воздухом и водой;
- участок с длиной волн (190-300 нм) – излучение, которое поглощается большинством биологических молекул, что ведет к нарушению наследственного аппарата клетки;
- ближний УФ-участок (300-380 нм) – излучение, которое поглощается биологическими молекулами, но без нарушения наследственности.

При облучении кожи употребляются следующие определения:

- Минимальная эритемная доза (МЭД) – наименьшая энергетическая доза облучения, приводящая через 8 ч к покраснению кожи, которое исчезает за следующие сутки.
- Минимально заметная эритема (МЗЭ) – едва ощутимое покраснение кожи, пропадающее на следующие сутки. Доза облучения не отличается от МЭД и составляет по потоку энергии 30 Дж/см².
- Эритемная единица – равномерное излучение с длиной волны 296,7 нм и плотностью потока мощности 20 мВт/см² – резко выраженное покраснение кожи с болевым ощущением.
- Бактерицидная единица (БЕ) – микробо уничтожающее облучение с длиной волны 257,7 нм и плотностью потока мощности 100 мВт/см².

Максимальный эритемный эффект вызывает облучение с длиной волны 260 нм. Волны длиной 280-320 нм способны провоцировать появление новообразований. Однако при со-

блюденнии мер защиты кожи профессиональные раковые заболевания практически не встречаются.

Главными тканями глаза, поглощающими ультрафиолетовую энергию, является роговица и конъюктива. Лазерный фотокератоконъюнктивит развивается при излучении с энергией 10 мДж/см^2 и длиной волны $253,7 \text{ нм}$. Наибольшее поражение роговицы отмечается на волнах облучения в 288 нм .

Большая часть УФ-излучения с длиной волны вплоть до 320 нм поглощается в роговице, тогда как в хрусталике поглощаются волны в интервале $320\text{-}390 \text{ нм}$.

2 Видимая область: На пути к сетчатке глаза световое излучение видимой области заметно не поглощается. Точкой приложения лазерного излучения в видимой области является родопсин клеток сетчатки. Степень опасности лазерного излучения для глаз определяется яркостью и продолжительностью действия излучения, а также диаметром зрачка в начале облучения.

Уровень освещенности на роговице, при котором возникает опасность ожога сетчатки, составляет $2,6 \times 10^6 \text{ Лк}$, что соответствует плотности поглощенной энергии $2\text{-}6 \text{ Дж/см}^2$ и плотности мощности проникающего в глаз луча 28 Вт/см^2 .

3 Инфракрасная область: Вода почти полностью поглощает волны от 1 до 15 мкм , поэтому большинство биологических материалов для этих длин волн непрозрачно. Однако энергия наиболее коротких волн ($0,7\text{-}1,3 \text{ мкм}$) может проникать в кожу (до 5 мм) и прозрачные среды глаза. Кожа в силу хорошего кровообращения мало подвергается тепловому поражению, труднее защитить от инфракрасного лазера (поражающего хрусталик) глаз.

Радужная оболочка с высокой степенью пигментации поглощает излучение практически всего инфракрасного диапазона. Особенно сильно она подвержена действию волн длиной $0,8\text{-}1,3 \text{ мкм}$, которые не задерживаются роговицей. При облучении в интервале волн от $0,8$ до $1,1 \text{ мкм}$ ожоги радужки плотностью энергии $4,2 \text{ Дж/см}^2$. Наиболее опасно одновременное поражение роговицы и радужной оболочки.

Нагрев радужной оболочки глаза при поглощении излучения видимой области и ближайшего участка инфракрасной области играет основную роль в развитии катаракты. Для возникновения необратимых изменений хрусталика достаточно создать на роговице плотность энергии свыше 10 Дж/см^2 . Чувствительные нервные окончания в радужной оболочке и в роговице очень восприимчивы к небольшому повышению температуры, а локальное повышение температуры до $47 \text{ }^\circ\text{C}$ у человека вызывает боль при мощности 10 Дж/см^2 .

Поглощение средами глаза энергии излучения в инфракрасной области растет с увеличением длины волн. При длинах волн $1,4\text{-}1,9 \text{ мкм}$ роговица и передняя камера глаза поглощают практически все излучение, а при длинах волн свыше $1,9 \text{ мкм}$ роговица становится единственным поглотителем энергии лазерного излучения. Максимум поглощения в сетчатке приходится на самые короткие волны инфракрасной области. Изменения в хрусталике носят вторичный характер и определяются степенью ожога прилегающих к нему участков радужки.

Лазерная физика как научное направление – стало развиваться в институте теплофизики СО АН СССР с 70-х годов двадцатого столетия, (затем отдел лазерной физики выделился и оформился в Институт лазерной физики) [1]. Основные исследования были сосредоточены в области лазерной спектроскопии сверхвысокого разрешения и оптических стандартов частоты, перестраиваемых по частоте лазерных систем, генерации когерентного излучения в ультрафиолетовой и рентгеновской областях спектра.

Эти направления отражают актуальные проблемы квантовой электроники и диагностики молекулярных потоков.

Для стабилизации частоты лазеров используются узкие резонансы. Разработан оптический стандарт частоты на длину волны $3,39 \text{ мкм}$ с долговременной стабильностью $5 \cdot 10^{-15}$ и воспроизводимостью среднего значения частоты $3 \cdot 10^{-14}$, который является самым стабильным в мире генератором электромагнитных колебаний. Создан He-Ne лазер с рекордно узкой для оптического диапазона шириной линии излучения около 7 Гц . На основе высокостабильного лазера на с длиной волны $3,39 \text{ мкм}$ с шириной линии излучения 7 Гц создан лазерный спектрометр с разрешающей способностью 10^{13} . Ведутся исследования пере-

страиваемых лазеров, работающих в инфракрасном диапазоне частот, Разрабатывается метод генерации мощного когерентного излучения в ближней инфракрасной области с использованием четырёх фотонных параметрических процессов в парах щёлочных металлов, генерации разностных частот, разрабатываются лазеры на красителях и поляритонах, исследуются лазеры на уровнях Ландау – спинорлип лазеры. Проводятся исследования механизмов фоторефракционного эффекта в кристаллах ниобата лития, легированных железом, с целью создания объемных кристаллических голографических решеток для перестраиваемых лазеров. Выполняются работы по выращиванию и исследованию новых кристаллов, обладающих высокими нелинейно-оптическими свойствами в ультрафиолетовом и инфракрасном диапазоне.

Изучаются активные среды для новых перспективных лазеров для теплофизических и технических применений. В рамках этой программы [1] создан ряд новых импульсных лазеров, среди которых выделим эксимерные лазеры ультрафиолетового диапазона и лазеры на атомарных переходах инертных газов. Эксимерные лазеры работают на переходах между связанными возбужденным и основным репульсивным состояниями молекул, образующихся при столкновении возбужденного атома газа с одним из галогенов. Такие молекулы называются эксимерами. Большой ресурс вспышек, простота и надежность в работе, частотный режим генерации лазерных импульсов – достоинства, которые обеспечивает разработанный способ накачки лазеров на эксимерах.

Чтобы изготовить, например, масштабируемый квантовый компьютер [2], следует научиться управлять квантовыми состояниями в больших системах, сохраняя когерентность этих состояний. Сделать такое устройство на основе квантовых точек пока не удалось, поскольку в данном случае выполняется лишь первое условие: квантовые точки легко масштабируются и управляются локальными электрическими сигналами, но в них сильны эффекты декогеренции. В меньшей степени этот недостаток свойственен одночастичным квантовым оптическим системам на основе атомов или ионов в магнитной ловушке. Однако и в этом случае возникают сложности, связанные с миниатюризацией и интеграцией в электрической цепи.

Специалисты из Австралии и США предложили способ интеграции полярных молекул с мезоскопическими твердотельными устройствами – джозефсоновскими контактами и квантовыми точками [2]. Этот метод позволяет эффективно контролировать когерентность состояний молекул, (например CaBr), и их взаимодействия. Молекулы располагаются на субмикронных расстояниях от сверхпроводникового СВЧ-резонатора, через который и осуществляется желаемая связь между ними. Запутанные состояния удаленных друг от друга кубитов формируется за счет обмена СВЧ-фотонами. Роль базисных состояний кубитов играют вращательные состояния молекул. Управляют кубитами посредством электрических затворов. При этом шумы – одно из главных препятствий для квантовых вычислений – удастся подавить до очень низкого уровня [2]. В компонентах компьютеров для диссипации избыточного тепла обсуждается возможность использования новых композитов на основе графена, – твёрдого композита на основе углеродных нанотрубок, его себестоимость ниже, благодаря дешевизне графита. Графен – это двумерный слой из правильных шестиугольников, в вершинах которых расположены атомы углерода. Совокупность большого числа таких листов, параллельных друг другу, представляет собой графит; при сворачивании слоя в цилиндр получается одностенная нанотрубка. Графен характеризуется высокой механической жесткостью, тепло- и электропроводимостью, что делает его перспективным материалом для применения в различных областях от наноэлектроники до покрытия фюзеляжей авиалайнеров, например, уже обсуждается возможность использования графена и на его основе новых композитов в солнечных батареях, но о замене кремниевых чипов на графеновые говорить пока преждевременно.

Американские специалисты из Северо-Западного Университета (штат Иллинойс) и Университета Бердью (штат Индиана) [3], предложили общий подход к синтезу композитов полимер / графен. Проводится химическое окисление графита и обработка его ультразвуком, чтобы расщепить на отдельные окисленные графеновые слои, которые затем растворяют совместно с полимером, после чего восстанавливают с целью удаления кислородных групп.

В результате образуется твердый композит, когда при увеличении концентрации графена проводимость быстро растет, достигая приблизительно 1 мм, поэтому можно использовать в компонентах компьютеров там, где проводимость углеродных волокон недостаточно высока. Заметим, что электронные энергетические спектры дискретны, как в квантовых точках. Это позволяет «включать» и «выключать» сверхток за счет сдвига размерно-квантовых уровней нанотрубки относительно уровня Ферми в сверхпроводнике путем подачи напряжения на электрические затворы. Интересно, что при сильном сдвиге энергетических уровней нанотрубки относительно энергии Ферми, сверхток можно уменьшить в 10-1000 раз, но в нуль он не обращается. Причина этого эффекта, возможно, связана со структурой нуль множества и с процессами, которые определяются этой структурой, например с процессами туннелирования более высокого порядка.

Одной из важнейших проблем квантовой электроники и физики плазмы является создание источников когерентного излучения в коротковолновой области спектра, источников излучения рентгеновского диапазона с использованием в качестве активной среды высокотемпературной лазерной плазмы. Методами нелинейной оптики получено когерентное излучение на длине волны короче 1000 Ангстрем.

Проводятся важные эксперименты в области генерации мягкого рентгеновского излучения, по разделению изотопов. Изучаются процессы перемагничивания наночастицы или единичной молекулы, например, если поместить ее на один из двух контактов (поперечные размеры нанотрубки и молекулы примерно равны друг другу, поэтому коэффициент связи магнитного момента молекулы с контуром оказывается большим). Кроме того, становится возможным простой электрический контроль направления сверхтока в контактах, благодаря дискретности электронных энергетических спектров.

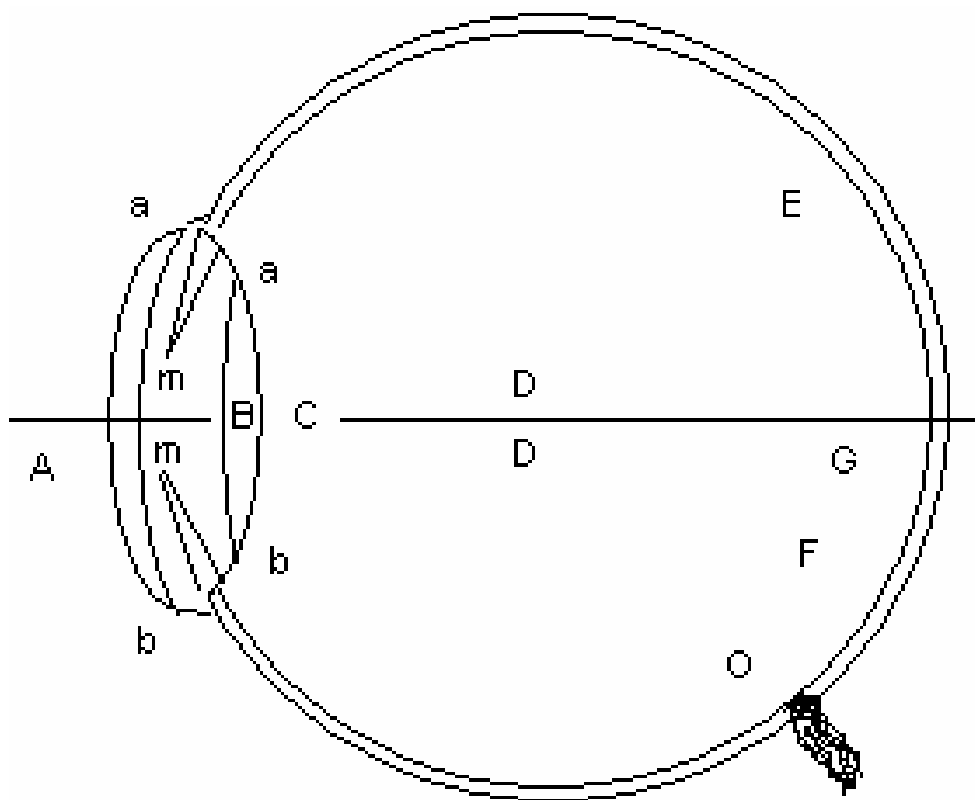


Рисунок 1 – Строение глаза

Немного об строении глаза по Леонарду Эйлеру [4]. «Теперь я считаю возможным объяснить В.В., как именно видит глаз человека и любого животного – что следует считать самым удивительным явлением, которое смог постичь человеческий ум. Хотя ещё много нужно сделать, чтобы наше познание этого явления достигло совершенства, тем не менее и

того немногого, что мы знаем, более чем достаточно, чтобы убедиться во всемогуществе и беспредельной мудрости Творца. <...> Мы находим в строении глаза такое совершенство, которое самые просвещенный ум никогда не сможет постичь до конца. <...> Я не буду останавливаться здесь на анатомии глаза: для моих целей достаточно отметить, что передняя оболочка aAb прозрачна и называется роговицей; позади нее, внутри находится другая оболочка am, bm , кольцеобразная, окрашенная, которую называют радужкой. В середине этой оболочки имеется отверстие mp , т.е. зрачок, который кажется нам черным на фоне радужной оболочки. За отверстием находится тело $bVca$, подобное маленькой зажигательной линзе, совершенно прозрачное, состоящее из слоистого вещества. Оно называется хрусталиком. Полость глаза позади хрусталика заполнена совершенно прозрачным студенистым веществом, именуемым стекловидным телом. Передняя же полость между роговицей aAb и хрусталиком ab заполнена жидкостью, похожей на воду; ее называют водянистой влагой. Таковы четыре прозрачные среды, через которые должны пройти лучи, входящие в глаз: 1-роговица, 2-водянистая влага, 3-хрусталик, 4-стекловидное тело (рисунок 1). После прохождения этих четырех сред, имеющих разную плотность, лучи фокусируются на дне глаза, где расположена сетчатка EGF . Лучи раздражают нервные окончания на сетчатке и импульс от нее посылается в головной мозг по зрительному нерву O .» - Писал Леонард Эйлер в письмах к немецкой принцессе.

Также необходимо напомнить о чудесных свойствах зрачка. При недостаточном освещении зрачок расширяется позволяя проходить в глаз большему количеству лучей, а при ярком свете, наоборот – сужается, не позволяя яркому свету травмировать сетчатку.

Зависимость механизма поражения глаз от диапазона лазерного излучения:

– *Ультрафиолетовая область*: При воздействии на глаза ультрафиолетовым излучением происходит разрушение белка роговой оболочки и ожог слизистой оболочки (конъюнктивит). Боль появляется через несколько секунд после облучения, поражения глаз – через длительное время: минуты, часы, дни. Поражение необратимое – слепота.

– *Видимая область*: Основное поражение ожог сетчатки. От обратимого поражения до слепоты.

– *Инфракрасная область*: Ближний и средний участки (до 3,5 мкм): Излучение сильно поглощается радужной оболочкой, хрусталиком и стекловидным телом. Богатая пигментом радужная оболочка нагревается за счет теплопроводимости, белки хрусталика свертываются. Поражение глаз происходит через длительное время. Поражение необратимое – слепота.

Дальний участок (3,5-300 мкм): этот участок для глаз менее опасен, но всё же при длительных воздействиях может привести к необратимым последствиям.

Действие лазерного излучения на кожные покровы. При облучении кожи употребляются следующие определения:

– Минимальная эритемная доза – наименьшая энергетическая доза облучения, приводящая через 8 ч к покраснению кожи, которое исчезает на следующие сутки.

– Минимальная заметная эритема – едва ощутимое покраснение кожи, пропадающее на следующие сутки. Доза облучения составляет по потоку энергии 30 Дж/см².

– Эритемная единица – равномерное излучение с длиной волны 296,7 нм и плотностью потока мощности 20 мВт/см² – резко выраженное покраснением кожи с болевыми ощущениями.

– Бактерицидная единица – микробоуничтожающее облучение с длиной волны 253,7 нм и плотностью потока мощности 100 мВт/см².

На характер повреждения кожных покровов влияет не только длительность облучения и сила импульса, но и цвет кожи. Светлая кожа отражает 35-40% падающего на неё излучения, а пигментированная наоборот сильнее поглощает это излучение.

Для инфракрасной области патологический порог поражения кожи в 1,5-2 раза ниже порога для излучения видимой области оптического диапазона. Для лазеров работающих в непрерывном режиме, определяющее значение имеет термическое действие при уровне энергии превышающем порог поражения, образуются ожоги кожи.

Лазерное излучение подпороговых величин, не вызывает видимых изменений, а ведет к

микроскопическим изменениям кожи, понижая антимикробную сопротивляемость и повышая чувствительность кожи к внешним факторам.

Излучение лазеров в ультрафиолетовом диапазоне вызывают в коже фотохимические реакции, а при больших уровнях энергии могут привести к разрушению кожи, кровеносных сосудов и даже внутренних органов. (К примеру сфокусированный луч рубинового лазера направленный в область головы (энергия импульса 40 Дж) вызывает кровоизлияние в оболочках мозга мышей. Так же при облучении лазером отмечены патологические реакции со стороны органов дыхания, пищеварения, сердечно-сосудистой, нервной и эндокринной системы).

В X веке мыслители начали рассматривать зрение человека. Однако только в XVI веке было обнаружено, что человеческое зрение бывает 3 видов: нормальное, дальнозоркое и близорукое. Также сделали очки для улучшения зрения близоруких и дальнозорких людей правильным подбором линз. Но даже люди с нормальным зрением не могут видеть мелкие объекты и дальние. По этому изобретали приборы позволяющие видеть глазу на разных расстояниях (микроскопы, бинокли, и многое другое.)

К истории создания светового микроскопа. Человеческий глаз различает детали объекта, если угол зрения между лучами от его крайних точек составляет не менее одной минуты, что соответствует наблюдению отрезка длиной 0,07 мм, находящегося на расстоянии ясного зрения – 25 см для нормального глаза. При меньшем размере объекта угол зрения уменьшается, а объект воспринимается как точка. Микроскоп с помощью линз увеличивает угол зрения, позволяет рассмотреть мелкие детали близких объектов. Первые линзы появились в X-XI веках, благодаря ремесленникам, которые производили и обрабатывали стекло. В XIV веке появились очки, в XVI веке выяснили, что хрусталик глаза представляет собой линзу, а изображение предмета строится на сетчатке глаза. Были объяснены также природа дальнозоркости и близорукости и действия очков.

Л. Эйлер [4]. Письмо 199 О видимых размерах, угле зрения и о микроскопах вообще. Я имел честь писать В. В. о близоруких людях, которые нуждаются в вогнутых линзах, чтобы хорошо видеть предметы далекие, в то время как дальнозоркие пользуются выпуклыми линзами, чтобы хорошо видеть близкие предметы. Зрение каждого имеет свою дальность, и каждый хочет иметь такую линзу, которая сделала бы его зрение идеально четким. У близоруких дальность зрения очень мала, а у дальнозорких — очень велика. Но бывают также глаза, столь хорошо устроенные, что они видят одинаково хорошо предметы близкие и далекие.

Однако, каковы бы ни были свойства зрения того или иного человека, расстояние не может быть слишком уж малым; нет таких близоруких, которые могли бы отчетливо видеть на расстоянии меньше одного дюйма.¹ Несомненно, В. В. известно, что если поднести какой-либо предмет слишком близко к глазам, то ничего увидеть невозможно, разве что очень смутно. Это зависит от устройства глаза. У людей оно таково, что они не могут видеть на очень малых расстояниях. Однако нет никакого сомнения в том, что насекомые могут видеть с очень близкого расстояния, а отдаленные предметы остаются невидимы для них. Я не верю, что маленькая мушка может видеть звезды, потому что она прекрасно видит с расстояния в десятую долю дюйма, мы же в таком случае не видим ничего. Это рассуждение приводит меня к описанию микроскопов, которые показывают нам мельчайшие объекты, как если бы они были весьма большими. Чтобы составить себе верное представление о микроскопах, нужно четко отличать видимые размеры каждого предмета от его истинных размеров. Эти последние являются объектом науки геометрии и остаются постоянными, пока предмет пребывает в неизменном состоянии. Однако видимые размеры предмета можно варьировать до бесконечности, притом что самый предмет остается без изменений. Так, звезды кажутся нам крайне мелкими, хотя их истинные размеры огромны. Причина в том, что мы находимся на огромном расстоянии от них. Если бы нам было дозволено к ним приблизиться, они показались бы нам гораздо крупнее. Из этого В. В. без труда сделает вывод, что видимые размеры зависят от угла, составленного лучами, приходящими в наши глаза от крайних точек объекта.

Пусть POQ (рисунок 2)– объект нашего зрения; он будет виден под углом PAQ, если глаз будет находиться в А. Этот угол называется углом зрения; он определяет видимые

размеры объекта. Из этого следует, что, чем более удаляется глаз от объекта, тем меньше становится этот угол. Поэтому очень большие тела могут быть видны под очень малым углом зрения, если только мы находимся далеко от них, как в случае со звездами. Но если глаз приблизится к объекту и будет наблюдать его из В, он увидит объект под углом зрения PBQ , который больше угла PAQ . Переместим глаз еще ближе, в точку С; угол зрения PCQ будет еще больше. Далее, если глаз будет находиться в D, угол зрения будет PDQ , а если придвинуть глаз еще ближе, в В, угол зрения PEQ станет еще шире. Следовательно, чем более мы приближаем глаз к объекту, тем больше становится угол зрения и соответственно больше становятся видимые размеры объекта. Поэтому, каким бы маленьким ни был объект, его видимые размеры можно увеличивать сколь угодно: для этого нужно только приблизиться на расстояние, соответствующее такому углу зрения, какой нам надобен. Тогда муха, находящаяся близко от глаза, может показаться такой же большой, как слон на расстоянии десяти футов.³ При такого рода сравнениях нужно не забывать упомянуть то расстояние, на котором мы собираемся увидеть слона; если это условие не соблюдено, слова наши не выражают решительно ничего, потому что слон представляется нам большим только в том случае, если мы от него недалеко. Уже на расстоянии одной мили мы, вероятно, не отличим слона от свиньи, а если бы он был перенесен на Луну, то оказался бы совершенно невидим, потому что его видимые размеры стали бы слишком малыми.* В этом смысле мы можем сказать, что муха нам кажется больше слона, находящегося слишком далеко. Поэтому, если мы хотим выразиться ТОЧНО, не следует говорить о видимых размерах предмета без учета расстояния до этого предмета, потому что один и тот же предмет можно увидеть то очень большим, то очень маленьким в зависимости от того, мало или велико расстояние до этого предмета. Поэтому представляется, что увидеть мельчайшие предметы под очень большим углом зрения — совсем нетрудно; для этого нужно только держать их на очень близком расстоянии от глаза.

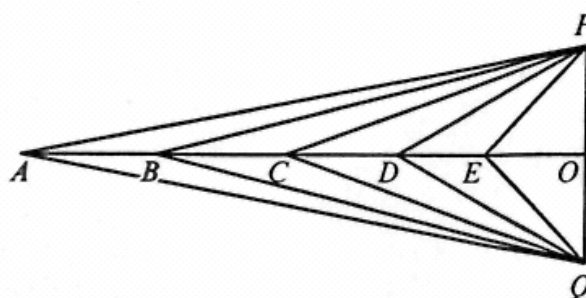


Рисунок 2 – Схема объекта зрения

Муха вполне может пользоваться этим способом. Однако человеческие глаза ничего не увидят на слишком малом расстоянии, какими бы они ни были близорукими; кроме того, люди с нормальным зрением тоже хотели бы видеть мельчайшие предметы большими. Нужно найти средство, при помощи которого мы могли бы отчетливо видеть предмет, несмотря на то что он находится совсем рядом с глазом. Выпуклые линзы дают нам такую возможность, отдаляя изображение предметов, находящихся слишком близко для нашего глаза. Применяются очень малые выпуклые линзы MN с очень коротким фокусным расстоянием, например в полдюйма. Если поместить перед такой линзой небольшой предмет OP на расстоянии, несколько меньшем половины дюйма, линза представит его изображение где-нибудь в ор, так далеко, как мы того пожелаем. Поэтому, установив глаз позади линзы, мы увидим предмет точно таким, как если бы этот предмет и в самом деле находился в О, то есть на достаточном расстоянии, и как если бы он имел размеры ор. Поскольку предполагается, что глаз расположен очень близко к линзе, то углом зрения будет угол ρ_{10} , равный углу ρ_{10} , под которым объект OP был бы виден на этом расстоянии невооруженному глазу. Однако теперь зрение стало четким благодаря линзе. Это — тот принцип, на котором основано устройство микроскопов.

19 января 1762 г.

Л. Эйлер [4]. Письмо 200 Об оценке увеличения объектов, рассматриваемых в микроскопы. Если несколько человек рассматривают через микроскоп один и тот же объект, например ножку мухи, все согласны в том, что она представляется им очень большой, но их суждения об ее конкретных размерах сильно разойдутся. Один скажет, что эта ножка кажется ему большой, как лошадиная нога, другой – как нога козы, третий – как нога кошки. В сущности, однако, никто из них не скажет ничего определенного, если не добавит, на каком расстоянии он, как ему кажется, видит эту лошадиную, или козью, или кошачью ногу. Каждый из наблюдателей, не говоря этого вслух, подразумевает какое-то расстояние, и, поскольку все, конечно, подразумевают разное, не следует удивляться различию их мнений, ибо нога лошади, если смотреть на нее издали, вполне может показаться не больше, чем нога кошки, увиденная с близкого расстояния. Поэтому, когда требуется сказать, во сколько раз микроскоп увеличивает объекты, нужно взять за правило выражаться точно и указывать первым делом расстояние, для которого приводится сравнение.

Прежде всего не подобает сравнивать размеры изображений, даваемых нам микроскопами, с размерами объектов другого рода — тех, что мы привыкли видеть каждый день то вблизи, то издали. Самый лучший способ упорядочить такие сравнения и оценки — по видимому, тот, которым пользуются ныне авторы, пишущие о микроскопах. Они сравнивают угол, под которым тот или иной малый объект виден под микроскопом, с тем углом, под которым этот же объект будет виден невооруженному глазу; считают, что этот малый объект, чтобы он был хорошо виден невооруженному глазу, нужно поместить на расстояние 8 дюймов. При этом они исходят из свойств нормального зрения, ибо близорукий человек поднесет объект гораздо ближе к глазу, а дальнозоркий сделает обратное. Но это различие не имеет значения, если твердо установить расстояние, которое мы берем за основу. У нас нет никакой причины предпочесть какое-нибудь расстояние, иное чем 8 дюймов, принятое всеми авторами, писавшими на эту тему. Таким образом, если скажут, что данный микроскоп увеличивает объекты в 100 раз, В. В. поймет, что в этот микроскоп объекты представляются в 100 раз более крупными, чем если бы мы смотрели на них с расстояния в 8 дюймов. Так В. В. составит себе правильное представление о свойствах этого микроскопа.

Вообще микроскоп увеличивает во столько раз, во сколько раз объект представляется более крупным, чем если бы его наблюдали без помощи линз с расстояния в 8 дюймов. В. В. согласится, конечно, что и это уже удивительно — видеть предмет в 100 раз крупнее, чем он представляется с расстояния в 8 дюймов. Однако удалось продвинуться гораздо дальше, и существуют микроскопы, дающие увеличение до 500 раз.¹ Это поразительно. В этом случае вполне можно было бы сказать, что мушиная нога кажется больше слоновьей. Я уверен, что вполне возможно сделать и такие микроскопы, которые будут увеличивать в 1000 и даже в 2000 раз; ² несомненно, они откроют нам множество вещей, доселе нам неизвестных.

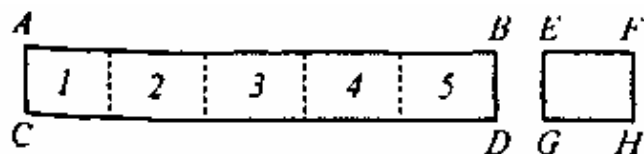


Рисунок 3 – Параллелограммы, имеющие одинаковую ширину

Однако, когда говорят, что объект под микроскопом кажется в 100 раз больше, чем если бы мы смотрели на него с расстояния в 8 дюймов,³ это надобно понимать так, что объект увеличился как в длину, так и в ширину, и в глубину, так что каждое из этих измерений представляется в 100 раз большим. Поэтому стоит представить себе на расстоянии 8 дюймов другой объект, подобный первому, но у которого длина в 100 раз больше, так же как ширина и глубина, — и это будет то изображение, которое мы видим в микроскоп. Однако если не только длина, но и ширина, и глубина некоторого предмета в 100 раз превышает все эти параметры другого предмета, то В. В. без труда поймет, что объем первого предмета будет много большим, чем в 100 раз. Чтобы сделать это совсем понятным, рассмотрим два параллелограмма, ABCD и EFGH (рисунок 3), имеющие одинаковую ширину, но длина АВ пер-

вого параллелограмма в пять раз больше, чем длина EF второго. Ясно, что площадь, или заключенное внутри фигуры пространство, будет у первого параллелограмма в 5 раз больше, чем у второго, поскольку в сущности второй содержится в первом пятикратно.

Следовательно, для того чтобы параллелограмм AD был в 5 раз больше параллелограмма EH, достаточно, чтобы его длина была в 5 раз больше, притом что ширина у них одинакова.

Если же мы примем в расчет еще глубину или высоту, разница в размерах станет еще большей. Пусть В. В. представит себе две комнаты, из которых одна в 5 раз длиннее, в 5 раз шире и в 5 раз выше другой; ее вместимость будет в 5 раз по 25, т. е. в 125 раз большей. Поэтому если говорят, что микроскоп увеличивает в 100 раз, то, поскольку это относится как к длине, так равным образом к ширине и глубине, т. е. ко всем измерениям, общая величина объекта увеличится в 100 раз, умноженные на 100 и еще раз на 100. Если 100 взять 100 раз, получится 10 000, которые, будучи взяты еще 100 раз, дадут 1 000 000, или миллион. Таким образом, если микроскоп увеличивает в 100 раз, общая величина объекта представляется увеличенной в 1 000 000 раз. Однако обычно ограничиваются тем, что говорят: микроскоп увеличивает в 100 раз; это следует понимать так, что все измерения, т. е. длина, ширина и глубина, кажутся увеличенными в 100 раз. Поэтому если бы микроскоп увеличивал в 1000 раз, общая величина объекта стала бы больше в тысячу раз, взятые тысячу раз, т. е. в 1 000 000 000, или миллиард раз. Такой эффект был бы поразительным.

23 января 1762 г.

Л. Эйлер, [4]. Письмо 203 О телескопах и их действию. Прежде чем перейти к описанию сложных микроскопов, я позволю себе сделать отступление и надеюсь, что рассказ о зрительных трубах не вызовет неудовольствия В. В. Эти две группы приборов имеют очень много общего, и, зная устройство одних, легче понять устройство других. Если микроскопы служат для разглядывания объектов близких, представляя их нам под углом, значительно большим, чем когда мы смотрим на них с некоторого расстояния, например с 8 дюймов, то приборы другой группы предназначаются для того, чтобы лучше видеть объекты сильно удаленные, представляя их нам под большим углом, чем мы видим их простым глазом. Приборы второй группы носят различные названия в зависимости от своих размеров и назначения. Самые маленькие называют «карманными подзорными трубами». Другие, побольше, — «подзорными трубами»; их следует отличать от очков, носимых стариками на носу. Инструменты, которыми пользуются астрономы, носят название «труб». Общее же название всех приборов этого типа — «зрительные трубы». Итак, это приборы, которые представляют нам предметы весьма удаленные под углом большим, нежели тот, под которым эти предметы видны невооруженному глазу. Определение это является вполне точным и не содержит ничего произвольного в отличие от того, что дается микроскопам, увеличение которых относят к некоторому произвольному расстоянию, принимаемому обыкновенно равным 5 дюймам.

Однако когда речь идет о предметах очень удаленных, расстояние до которых слишком велико для нашего зрения, то увеличение, естественно, относят к тому же расстоянию, и телескоп увеличивает во столько раз, во сколько он увеличивает угол, под которым нам видны объекты, по сравнению с тем, как они видны невооруженному глазу. Например, Луну мы видим под углом в половину градуса; следовательно, телескоп увеличивает в 100 раз, если он представляет нам Луну под углом в 50 градусов, т. е. в 100 раз большим, чем по. градуса; если бы телескоп увеличивал в 200 раз, он представлял бы нам Луну под углом в 100° , и тогда нам показалось бы, что Луна закрыла собой более половины видимого неба, протяженность которого всего лишь 180 градусов.

Обычно говорят, что телескопы приближают к нам предметы; это выражение весьма двусмысленно: оно допускает два различных толкования. Одно что, глядя в телескоп, мы полагаем предметы во столько же раз более близкими к нам, во сколько увеличивает телескоп; но я уже имел честь обратить внимание В. В. на то, что мы можем определять расстояния до предметов лишь посредством суждения и оценки; суждение же наше действительно применимо лишь к предметам, не слишком удаленным. Если предметы столь далеки, как мы здесь предполагаем, наше суждение о расстоянии может нас сильно обма-

нуть. Другое толкование — а именно когда мы подразумеваем, что телескопы представляют нам предметы столь большими, какими мы их увидели бы, приблизившись к ним, — точнее соответствует действительности. Ибо В. В. известно, что, чем более приблизимся мы к предмету, тем больше станет угол, под которым он будет виден; таким образом, это определение возвращает нас к тому, которое я дал вначале. Однако когда мы смотрим на предметы, хорошо нам знакомые, например на людей, находящихся в большом отдалении, и видим их в подзорную трубу под значительно большим углом, — в этом случае нам кажется, что эти люди находятся на значительно меньшем расстоянии, поскольку тогда они были бы видны под углом, соответственно большим. Если же речь идет об объектах малознакомых, таких, например, как Солнце или Луна, то никакой оценки расстояния быть не может. Этот случай совершенно отличен от того, о котором я имел честь говорить В. В., — когда вогнутая линза, которой пользуются близорукие люди, строит изображения предметов на очень малом расстоянии: например, вогнутая линза, которую пользуюсь я, представляет мне изображения всех предметов удаленными на расстояние 4 дюймов. Это, однако, не заставляет меня вообразить, что Солнце, Луна и звезды находятся столь близко ко мне. Итак, мы не думаем, что объекты находятся там, где их изображения представлены нам линзами; мы верим в это не более, чем в то, что предметы находятся внутри нашего глаза, хотя их изображения создаются именно там. И В. В., должно быть, вспомнит, что наше суждение об истинном расстоянии до предметов, так же как об их истинных размерах, зависит от ряда обстоятельств.

Итак, главное назначение зрительных труб — увеличивать, то есть расширять угол, под которым объекты видны невооруженному глазу; вот почему зрительные трубы различают в основном по даваемому ими увеличению. Так, говорят, что такая-то труба увеличивает в 5 раз, другая — в 10, третья — в 20 или же 30 раз, и т. д. В связи с этим я отмечу, что карманные подзорные трубы редко увеличивают более чем в 10 раз; однако обычные подзорные трубы, которыми пользуются, чтобы разглядывать удаленные предметы на Земле, дают увеличение от 20- до 30-кратного, их длина может достигать 6 футов и более. Подобное увеличение, хотя и очень значительное, если речь идет о земных объектах, недостаточно в случае небесных объектов, которые требуют увеличения значительно большего. Есть поэтому астрономические телескопы или трубы, дающие увеличение от 50 до 200 раз; получить большее увеличение трудно, поскольку в применяющихся обычно конструкциях чем больше увеличение, тем длиннее становится труба. Телескоп, который должен увеличивать в 100 раз, имеет длину уже 30 футов, а труба в 100 футов едва может обеспечить увеличение в 200 раз. В. В. понимает, конечно, как трудно направлять на объект и поворачивать эти сооружения и что это ставит неодолимые препятствия для дальнейших опытов.

2 февраля 1762 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Проспект Института теплофизики.** Сибирское отделение наук СССР. Изд-во «Наука», СО АН СССР. 1979. -32 с.
- 2 **Andre A., DeMille L., Doyle J.M. et al** //Nature Phys. 2006. v.2.№9. P. 636-642.
- 3 **Stankovich S., Didin K.A. et al**//Nature.2006.№7100.v.442.P.282-286.
- 4 **Эйлер, Л.** Письма к немецкой принцессе о разных физических и философских материях [Текст]: / Л. Эйлер // -С.-П.: Наука, 2002.
- 5 **Роуз, А.** Зрение человека и электронное зрение [Текст]: / А. Роуз // -М.: 1977, -129 с.
- 6 **Актуальные проблемы лазерной медицины** [Текст]: / Под редакцией И.Б. Лаприна // -М.: Моники, 1970. -111 с.
- 7 **Арефьев, И.М.** Временные рекомендации по работе с лазерным излучением в учреждении здравоохранения [Текст]: / И.М. Арефьев // -М.: Б.И., 1978. -16 с.
- 8 **Бурилов, В.К.** Биологическое действие лазерных излучений [Текст]: / В.К. Бурилов, Г.М. Крочик // -Киров: Штиинца, 1989. -101 с.
- 9 **Лазерное излучение** [Текст]: / Под ред. В.Я. Гранкина // -М.: Воениздат, 1977. -191 с.
- 10 **Клейн, Ф.** Биологическое действие излучения лазера [Текст]: / Ф. Клейн // -М.: Атом-

издат, 1968.

11 **Бункин, Ф.В.** Термохимическое действие лазерного излучения [Текст]: / Ф.В. Бункин, Н.А. Кириченко, Б.С. Лукьянчук // Успехи Физ. Наук. -1982. -т138. -Вып.1. -С. 45-94.

12 **Ахромеева, Т.С.** Периодические колебания и диффузионный хаос при нагреве металлов излучением [Текст]: / Т.С. Ахромеева, Ф.В. Бункин // Изв. АН СССР, сер. физ. –т.51. - №6. 1989. -С. 1154-1161.

13 **Довгуша, В.В.** О влиянии низкочастотных источников излучения на здоровье человека [Текст]: / В.В. Довгуша, М.Н. Тихонов, И.Д. Кудрин, В.С. Новиков, В.Н. Цыган // -М: Винити, 1997

14 **Проблемы окружающей среды и окружающих ресурсов** [Текст]: Обзорная информация. -С. 51-70.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.316.9

СОСТОЯНИЕ СТАЛЬНЫХ ИСКУССТВЕННЫХ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ СНГ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**Ю.В. Демин, Г.В. Иванов, А.Ю. Кузнецов, А.С. Лесных,
А.И. Мозилов, Б.В. Палагушкин**

Рассмотрено состояние искусственных заземлителей на территории СНГ. Проведен анализ скорости коррозионных процессов в средах с различной степенью коррозии. Представлены зависимости допустимых токов короткого замыкания от изменения сечения искусственных заземлителей в результате коррозии.

В мировой практике для искусственных заземлителей (ИЗ) применяют различные металлы: медь, алюминий, оцинкованную сталь, омедненную сталь, луженую медь и сталь без покрытий.

Материал, используемый для целей заземления, должен обладать следующими свойствами:

- стойкостью к термическому воздействию аварийных токов;
- достаточно высокой проводимостью;
- механической прочностью в местах с большой физической нагрузкой.

Анализируя указанные материалы по этим критериям, специалисты США пришли к выводу, что кроме меди, можно применять такие материалы, как алюминий и сталь. Медь обладает хорошей проводимостью, но имеет низкую механическую прочность и высокую стоимость [1].

Алюминий также имеет низкую механическую прочность и высокую стоимость. Кроме того, использование алюминия требует замены сварки другим методом соединения полос. Использование болтовых соединений ухудшает контакт, требует (из-за окисления алюминия) более частого контроля переходного сопротивления и почти вдвое снижает допустимую температуру нагрева [2].

Сталь имеет меньшую, чем алюминий и медь, но достаточную проводимость, высокую механическую прочность, низкую стоимость и допускает температуру нагрева 900 °С, что вдвое выше допустимой температуры для меди и более, чем втрое – для алюминия [2].

На основании такого анализа в США сделан вывод, об эффективности использования

стали для систем заземления (ЗС) [1].

Представляет интерес проанализировать положительный опыт СССР (СНГ) по использованию стальных заземлителей без специальных покрытий. Почти полувековой опыт эксплуатации стальных искусственных заземлителей в СНГ показывает, что срок их службы не определяется однозначно. Отмечены случаи как сильной, так и слабой коррозии заземлителей. Наибольшую опасность представляет коррозия заземляющих систем, протекающая под действием блуждающих постоянных токов. Так, на ряде тяговых подстанций Западно-Сибирской железной дороги имели место случаи полного разрушения горизонтальных шин на отдельных участках длиной 40-50 м. В то же время на других подстанциях этой дороги коррозионные разрушения незначительны.

Аналогичная картина наблюдается и на заземляющих системах электроустановок энергосистем. По данным Волгоградэнерго на ВЛ 800 кВ (Волгоград-Донбасс) на части опор заземлители (сталь диаметром 12-16 мм) подвержены усиленной коррозии. Причем в отдельных случаях искусственные заземлители разрушены полностью.

Наиболее интенсивная грунтовая коррозия ЗС наблюдается в солончаковых грунтах Средней Азии. В Туркмении, например, на подстанции 220 кВ «Чарджоу» ЗС за 5 лет эксплуатации почти полностью вышла из строя. Подобное состояние ЗС обнаружено на 10 год эксплуатации на подстанции «Кызыл-Арват» (Туркмения). Заземлители опор ВЛ проложенной в Кызыл-Кумах, по данным Средне-Азиатского института «Энергосетьпроект», усиленно корродируют. Обследования показали, что за 7 лет эксплуатации заземляющие спуски из стали диаметром 12 мм на 10 опорах разрушены полностью, на 10 отмечено частичное разрушение ИЗ и на 7-ми была обнаружена слабая коррозия. И здесь же, в Средней Азии, имеются заземления в удовлетворительном состоянии, прослужившие срок, превышающий амортизационный в 1,5-2 раза [1].

Значительные коррозионные разрушения ИЗ выявлены в Прибалтике, на Украине, на Кавказе, в Сибири.

Для выявления наиболее опасных с точки зрения коррозии условий работы ЗС необходимо провести сравнение их состояния приведенное к одному году (таблица 1). Наиболее опасна для всех регионов электрокоррозия ИЗ на постоянном токе, если плотность их при стекании с ИЗ превышает $0,05 \text{ А/м}^2$ (тяговая п/ст «Чулымская», Западно-Сибирская ж.д.).

При меньших плотностях тока величина коррозионного разрушения определяется, по видимому, только действием грунтовых факторов. Наиболее интенсивно грунтовая коррозия протекает в солончаковых грунтах Средней Азии. Сравнимой с ней оказывается и коррозия в средней полосе СНГ, если грунт, окружающий заземлитель, резко неоднороден по воздухопроницаемости, например, воздухом насыщенный гумус или песок перемежается включениями глины. Характер этого вида коррозии и в средней полосе и на юге одинаков, но в южных районах разрушения больше, что можно объяснить большей продолжительностью протекания коррозионных процессов в течение года. Эти же факторы влекут за собой отличие в показателях юга СНГ (п/ст. 110 кВ «Ташауз», Туркменглавэнерго) от сравнимых между собой показателей в Новосибирской области (п/ст. 110 кВ «Мочище»; п/ст. 220 кВ «Чулымская», Новосибирскэнерго), в целом преобладают незначительные разрушения ИЗ [1].

Во всех отмеченных случаях фиксировались только факты наличия коррозионных разрушений без детального анализа причин их коррозии, что не дает возможности обосновано судить о степени опасности, вызываемой коррозионными разрушениями ЗС. В то же время, наличие разрушений ЗС помимо безвозвратных потерь металла может привести к возникновению опасных шаговых напряжений или напряжений прикосновения вблизи ввода тока в землю или в зоне разрушения отдельных его частей. В зависимости от места и вида разрушения может происходить вынос опасного потенциала по оболочкам кабелей, ложное срабатывание защиты и устройств автоматики или отказ в их срабатывании, возникновение обратных напряжений на изоляции и ее пробой или перекрытие.

При полном коррозионном разрушении искусственных горизонтальных заземлителей продольные токи, возникшие в системе заземления при коротких замыканиях, перераспределяются на естественные заземлители, такие как оболочки кабелей, трубопроводы, воздуховоды и т.п., и, перегружая, повреждают их. В пожаро- и взрывоопасных случаях могут воз-

никнуть пожар и взрыв.

Таблица 1 – Коррозия стальных ИЗ, приведенная к 1930 г.

Электроустановка	Тип грунта (Вид коррозии)	Глубина коррозии, мм	Прямоугольный заземлитель		Круглый заземлитель		Степень коррозии	Уравнение коррозии
			Сост, мм ² /%	Ip, кА	Сост, мм ² /%	Ip, кА		
Тяговая п/ст «Чулымская», Западно-Сибирская ж.д.	Гумус (Электрокоррозия)	3,8	8/5	1,6	116,8/58	23,5	К1, очень сильная	(1)
Трансформаторная п/ст. №238, Новосибирскэнерго	Суглинок тяжелый (Смешанная)	0,4	144/90	29,0	191/96	38,4	К5, слабая	(2)
ИЗ опоры ВЛ-110 кВ, Новосибирскэнерго	Гумус с глиной (Грунтовая)	2,6	56/35	11,3	141/71	28,4	К2, сильная	(3)
П/ст. 110 кВ «Мочище», Новосибирскэнерго	Суглинок (Грунтовая)	0,8	128/80	25,8	181/91	36,5	К3, К4, средняя	(4)
П/ст. 220 кВ «Чулымская», Новосибирскэнерго	Гумус (Грунтовая)	0,043	158,3/99	31,8	199,9/99,9	40,2	К5, слабая	(2)
П/ст. 110 кВ «Ташауз», Туркменглавэнерго*	Суглинок засоленный (Грунтовая)	1,88	84,8/53	17,05	156,5/78	31,5	К2, сильная	(3)
П/ст. 220 кВ «Чарджоу», Туркменглавэнерго*	Суглинок засоленный, песок (Грунтовая)	3,37	25,2/16	5,07	125,2/63	25,2	К1, очень сильная	(1)
ТЭЦ-2, Красноводск*	Морской ил (Грунтовая)	2,85	46/29	9,3	135,7/68	27,3	К1, очень сильная	(1)

*-Юг СНГ, остальные – средняя полоса РФ

Уравнения коррозии (см. таблицу 1)

$$\delta_{cp} = 0,0206 \ln^3 t + 0,1054 \ln^2 t - 0,041 \ln t + 0,0593 ; \quad (1)$$

$$\delta_{cp} = 0,0013 \ln^3 t + 0,003 \ln^2 t - 0,0068 \ln t + 0,044 ; \quad (2)$$

$$\delta_{cp} = 0,0118 \ln^3 t + 0,035 \ln^2 t - 0,0612 \ln t + 0,143 ; \quad (3)$$

$$\delta_{cp} = 0,0056 \ln^3 t + 0,0031 \ln^2 t - 0,041 \ln t + 0,243 . \quad (4)$$

Также, одним из факторов, воздействующих на ЗС, является ток, который существующие заземлители должны пропускать не нагреваясь выше допустимой температуры (для заземляющих проводников допустимая температура составляет 300 °С, а для остальных ИЗ – 400 °С), пережог заземлителей наступает при температуре выше 1300 °С.

Допустимый ток для заземлителей определяется:

– для заземляющих проводников

**СОСТОЯНИЕ СТАЛЬНЫХ ИСКУССТВЕННЫХ ЗАЕМЛИТЕЛЕЙ
НА ТЕРРИТОРИИ СНГ**

$$[I(t)]_{зп} = \frac{S_{зп}(t) \cdot 60}{\sqrt{t_k + 0,09}};$$

– для заземлителей

$$[I(t)]_з = \frac{S_з(t) \cdot 150}{\sqrt{t_k + 0,09}},$$

где $S(t)$ – текущее значение площади поперечного сечения ИЗ;

t_k – время действия тока КЗ на землю.

Ток КЗ, вызывающий пережог заземлителя

$$[I(t)]_п = \frac{S(t) \cdot 210}{\sqrt{t_k + 0,09}}.$$

Поскольку площадь поперечного сечения заземлителя под действием коррозии уменьшается, то и допустимое значение тока КЗ на землю будет убывать во времени.

На основании данных экспериментальных исследований на всей территории СНГ были построены зависимости средней глубины коррозии стальных искусственных заземлителей от времени (рисунок 1). Это позволило классифицировать опасность коррозии по шести степеням К0-К5. Каждой степени коррозии соответствует свое уравнение, которое позволяет осуществлять прогноз коррозии стальных искусственных заземлителей на срок превышающий амортизационный.

С использованием зависимостей на рисунке 1 построены графики изменения сечения от коррозии шины 40×4 мм и искусственного заземлителя круглого сечения диаметром 16 мм. На этих же графиках приведены данные по токам короткого замыкания (рисунок 2 и 3).

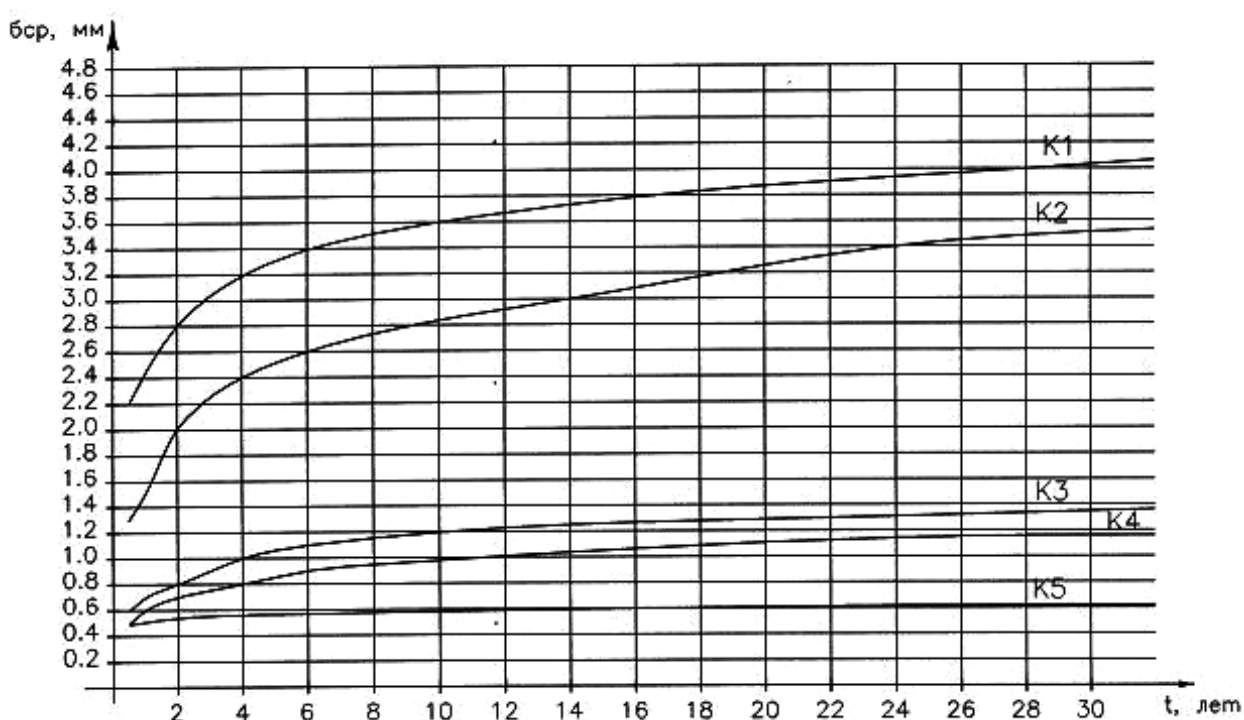


Рисунок 1 – Зависимость средней глубины коррозии стальных искусственных заземлителей от времени

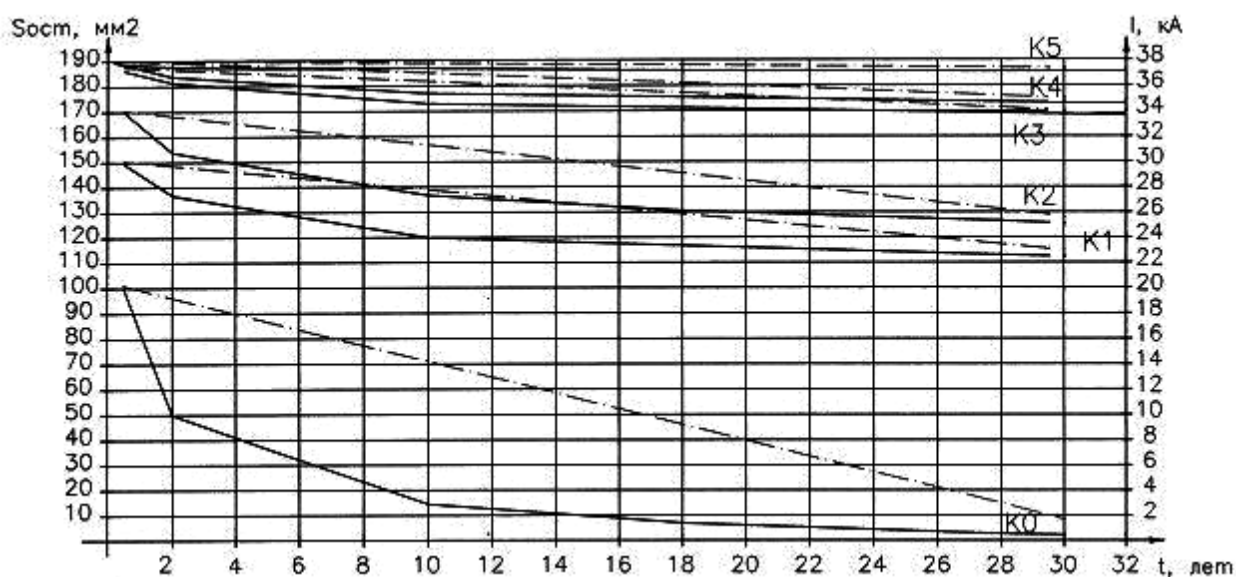


Рисунок 2 – Изменение сечения круглого заземлителя от коррозии ($S_{ост}$ - остаточная площадь поперечного сечения заземлителя). Допустимые токи K3 (I - допустимый ток K3)

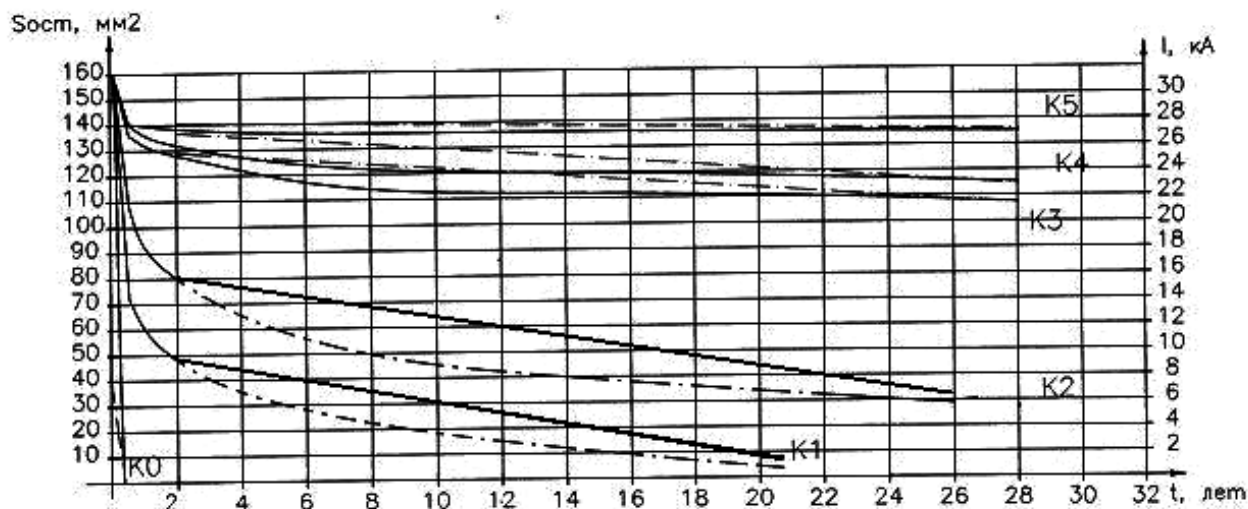


Рисунок 3 – Изменение сечения прямоугольного заземлителя от коррозии. Допустимые токи K3

Из графиков видно, что прямая изменения токов короткого замыкания пересекает кривые, отражающие уменьшение сечения заземлителей от коррозии, и отсекает допустимое сечение заземлителей по термической устойчивости для конкретной степени коррозии.

Проведенный анализ показал, что с учетом требований надежности самой ЗС и надежности работы основного оборудования ЗС электроустановка должна быть спроектирована с учетом требуемого срока службы. Для этого необходимо, чтобы уровень коррозионных повреждений элементов ЗС оставался в пределах допустимого.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Демин, Ю.В. Обеспечение долговечности электросетевых материалов и конструкций

в агрессивных средах: в 2 ч. Ч. 1. Теоретические основы [Текст]: / Ю.В. Дёмин, Р.Ю. Дёмина, В.П. Горелов: под ред. В.П. Горелова // -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. водного транспорта, 1998. -209 с.

2 **Томашов, Н.Д.** Теория коррозии и защита металлов [Текст]: / Н.Д. Томашов // -М.: АН СССР, 1959. -600 с.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.316.9

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЁТА КОРРОЗИОННЫХ ТОКОВ И ПОТЕНЦИАЛОВ В ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**Ю.В. Демин, Г.В. Иванов, А.Ю. Кузнецов, А.С. Лесных,
А.И. Мозилов, Б.В. Палагушкин**

Выполнено математическое моделирование.

Заземляющие системы (ЗС) электроустановок эксплуатируются в различных грунтово-климатических условиях. При этом они подвергаются воздействию грунтовой коррозии и электрокоррозии (воздействие блуждающих токов). Заземляющие системы можно условно подразделить на 2 типа: «эквипотенциальные» (различия потенциалов в пределах ЗС не более 3-5%) и «неэквипотенциальные» (потенциалы на территории ЗС отличаются на 10% и более).

Расчёт коррозионных токов и потенциалов в заземляющих системах (ЗС) электроустановок необходим для оценки их коррозионного состояния, принятия и оптимизации, необходимых мер защиты ЗС при проектировании и эксплуатации.

Физической основой метода расчета токов и потенциалов коррозии является теория многоэлектродных электрохимических систем. В основе математической модели лежит система нелинейных уравнений, связывающих значения электродных электрохимических потенциалов и коррозионных (стекающих и втекающих) токов линейных коррозионных систем (LKS).

В предлагаемом методе расчета приняты следующие допущения:

1 В расчетной модели используется однородное строение грунта. Вместе с тем, в методе предусмотрена возможность учета неоднородности грунта. В основу этого положены следующие факторы:

– существенное (как правило, в несколько раз) преобладание собственных значений поперечных сопротивлений над взаимными;

– в отличие от обычного заземлителя (потенциалы на котором задаются относительно бесконечности) коррозионные потенциалы относятся только к ближней области, поскольку связаны с возникновением на поверхности металла двойного электрического слоя;

– коррозионные токи замыкаются между элементами внутри сооружения, а не вытекают (втекают) из него, как в случае заземлителя.

В связи с этим, при расчетах собственных значений поперечных сопротивлений для каждого элемента используется свое удельное сопротивление грунта. При расчетах взаимных сопротивлений задается общее для всего сооружения удельное сопротивление грунта.

2 Реальные элементы заменяются источниками тока простой формы (обычно точечный источник, прямолинейный отрезок, окружность и т.п.).

Погрешности расчета определяются:

- погрешностью определения исходных данных (R_3^A -анодное сопротивление заземлителей; R_3^K -катодное сопротивление; ρ_r -удельное сопротивление грунта; U_3 -коррозионный потенциал заземлителей);
- погрешностью расчетных моделей ЗС (приведение реальной геометрии к возможностям программы);
- погрешностью алгоритма, например, из-за разбиения ЗС на элементы с постоянной плотностью тока;
- погрешностью вычисления, например, замена бесконечного ряда конечной суммой.

Грунтовая коррозия. Эквипотенциальная расчетная модель описывается следующей системой уравнений $(n + 1)$ -го порядка, в виде квадратной и столбцовых матриц;

$$\begin{bmatrix} R_{11}, \dots, R_{1m}, \dots, R_{1n}, 1 \\ \dots \\ R_{m1}, \dots, R_{mm}, \dots, R_{mn}, 1 \\ \dots \\ R_{n1}, \dots, R_{nm}, \dots, R_{nn}, 1 \\ 1, \dots, 1, \dots, 1, 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_1 \\ \dots \\ I_m \\ \dots \\ I_n \\ U_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_1 \\ \dots \\ U_m \\ \dots \\ U_n \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где R_{ij} – собственные ($i = j$) и взаимные ($i \neq j$) значения поперечных сопротивлений элементов;

I_j – поперечный ток (коррозионный) j -го элемента;

U_0 – компромиссный потенциал системы рассматриваемых элементов, соединенных «звездой»;

U_i – электродный потенциал i -го элемента до его включения в систему (т.е. при $I_i = 0$).

В состав значений R_n помимо собственного сопротивления растеканию "элемент-грунт" R_{ii}^r , входят также сопротивление изоляционного покрытия R_{ii}^i (при наличии) и сопротивление поляризации $R_{ii}^{A,K}$ (анодное или катодное). Собственные и взаимные сопротивления растеканию рассчитываются с помощью двойного интегрирования (по i -му и j -му элементам) сопротивления «точка-точка» выражения (2) с последующим осреднением получаемого результата.

$$R_{ij} = \frac{\rho_r}{4\pi} \left\{ \left[(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2 \right]^{-1} + \left[(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2 \right]^{-1} \right\}, \quad (2)$$

где x_i, y_i, z_i – координаты на i -ом элементе;

x_j, y_j, z_j – j -ом элементе.

Начало координат на поверхности земли (ось z - вниз).

Сопротивления поляризации $R_{ii}^{A,K}$ определяются по соответствующим поляризационным характеристикам элементов ЗС, снятых до их соединения в систему.

Обобщенные удельные поляризационные характеристики $|\Delta U_A| = |U_A - U_0| = F_A(j_A)$ и $|\Delta U_K| = |U_K - U_0| = F_K(j_K)$ получены по результатам многочисленных натуральных измерений на отдельных элементах ЗС на подстанциях и ВЛ, расположенных в различных регионах СНГ.

Так, для стальных элементов ЗС получены следующие зависимости анодных (ΔU_A^{CT}) и катодных (ΔU_K^{CT}) потенциалов от плотности поляризующего тока ($J_{A,K}$)

$$\Delta U_A^{CT} = 1,91 \ln^2 j_A + 43,3 \ln j_A; \quad (3)$$

$$\Delta U_K^{CT} = 9,38 \ln^2 j_K + 3,4 \ln j_K; \quad (4)$$

Для ЖБ стоек, выступающих, как правило, в роли катода, и для углеграфитовых (анод-

ных) электродов получено

$$\Delta U_A^{жб} = 7,55 \ln^2 j_K + 5,4 \ln j_K; \quad (5)$$

$$\Delta U_A^{вр} = 8,2 \ln^2 j_A + 95 \ln j_A; \quad (6)$$

Суммируя (алгебраически) относительные значения поляризационных потенциалов (3)-(6) с величиной электродных потенциалов (при $I_{A,K} = 0$) получим полные поляризационные характеристики (анодные и катодные).

Основная трудность при решении уравнений (1) связана с неопределенностью типа поляризации рассматриваемых элементов. Использование итерационных решений без задания хотя бы ориентировочной исходной информации о сопротивлении поляризации элементов зачастую ведет к расхождению итераций, ввиду многозначности решаемой задачи. Для предварительного определения типа поляризации используются разностные системы уравнений $(n-1)$ -го порядка, получаемые путем вычитания уравнения рассматриваемого элемента из общей системы (1) без последнего уравнения. Так, для m -го элемента получим систему уравнений без m -го элемента и без компромиссного потенциала U_0 .

$$\begin{bmatrix} (R_{11} - R_{m1}), \dots, (R_{1n} - R_{mn}) \\ \dots \\ (R_{n1} - R_{m1}), \dots, (R_{nn} - R_{mn}) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_1 \\ \dots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_1 - U_m \\ \dots \\ U_n - U_m \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Тип сопротивления поляризации $R_{ii}^{A,K}$ в диагональных коэффициентах $(R_{ii} - R_{mi})$ системы (7) будем задавать соответствии со знаком правой части уравнения, т.е. при $(U_i - U_m) > 0$ - используется катодное сопротивление R_{ii}^K , при $(U_i - U_m) < 0$ - берется анодное сопротивление R_{ii}^A , а при $(U_i - U_m) = 0$ - рекомендуется использовать среднее значение сопротивлений поляризации $(R_{ii}^A + R_{ii}^K)/2$.

В соответствии с последним уравнением системы (1) сумма анодных и катодных токов равна «0». Очевидно, что при $\sum_{j \neq m} I_j > 0$ поляризация рассматриваемого m -го элемента «анодная» (так как для баланса коррозионных токов не хватает отрицательного значения I_m), а при $\sum_{j \neq m} I_j < 0$ - поляризация m -го элемента «катодная».

Вышеописанному анализу (с целью предварительного определения типа поляризации) подвергаются все элементы системы, кроме элементов с минимальным и максимальным значениями (с учетом знака) электродного потенциала, поскольку первый из них всегда будет анодом, а второй - катодом.

Определив ориентировочный характер сопротивлений поляризации всех элементов, решим систему уравнений (1) относительно коррозионных токов и компромиссного потенциала. При несовпадении типов поляризации для отдельных элементов, полученных по предварительному анализу и при окончательном решении, для них выполняется смена значений $R_{ii}^{A,K}$ и расчет повторяется, то есть включается итерационный процесс. Аналогичные итерационные циклы используются и для уточнения (в случае необходимости) полученного решения за счет учета нелинейной зависимости $R_{ii}^{A,K}$ от величины коррозионного тока I_i , которые в этом случае задаются в виде анодных и катодных поляризационных кривых $R_{ii}^{A,K} = F(I_i)$. При этом, рекомендуется определять текущие значения сопротивлений поляризации в виде $R_{ii}^{A,K} = (U_i^{A,K} - U_i) / I_i$ а не в дифференциальной форме, что позволит в процессе итераций оставлять неизменными значения электродных потенциалов U_i .

При неэквипотенциальной расчетной модели используются две системы уравнений, первая из которых связывает потенциалы с поперечными токами и сопротивлениями, а вторая - падение напряжений с продольными токами и сопротивлениями элементов. В соответствии с этим, первую систему уравнений запишем в виде:

$$\begin{bmatrix} R_{ij} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_i - U_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} U_i^n \end{bmatrix}, \quad (8)$$

где $[R_{ij}]$ – квадратная матрица поперечных сопротивлений n -го порядка, получаемая из аналогичной матрицы (1) путем исключения из нее нижней строки и последнего столбца;

$[I_j] = [I_j^H - I_j^K]$ – столбцовая матрица поперечных токов, равных разности, продольных токов в начале и конце j -го элемента $[U_i - U_0]$ – столбцовая матрица разностей электродного и компромиссного потенциалов (последний, предварительно определяется по эквипотенциальной расчетной модели);

$[U_i^n] = [(U_i^{nH} + U_i^{nK})/2]$ – столбцовая матрица переменной составляющей действующих напряжений, равная ее средним значениям по концам i -го элемента.

Вторая система уравнений записывается в виде

$$[Z_{ij}] \times [I_i] = [U_i^n], \quad (9)$$

где $[Z_i]$ – диагональная (вырожденная) матрица продольных сопротивлений;

$[I_i] = [(I_i^H - I_i^K)/2]$ – столбцовая матрица продольных токов равных их средним значениям по концам i -го элемента;

$[U_i^n] = [(U_i^{nH} + U_i^{nK})]$ – столбцовая матрица падений действующих напряжений, равных разности этих напряжений по концам i -го элемента.

Совместное решение уравнений (8) и (9) выполняется способом узловых потенциалов.

Обратив матрицу поперечных сопротивлений $[R_{ij}]^{-1} = [G_{ij}]$ запишем уравнение (8) в виде

$$[(I_i^H - I_i^K)/2] = [G_{ij}/2] \times [U_i - U_0] + [G_{ij}/4] \times [U_i^{nH} - U_i^{nK}] \quad (10)$$

Первый член правой части уравнения (10) известен и означает коррозионный ток (уменьшенный в 2 раза), действующий на i -ый элемент при эквипотенциальной расчетной модели (1)

$$[I_i^{(0)}] = [G_{ij}/2] \times [U_i - U_0], \text{ где } \sum_{i=1}^n I_i^{(0)} = 0 \quad (11)$$

Суммируя коэффициенты второго уравнения (10), относящиеся к одному и тому же узловому потенциалу φ_t обозначая их индексом K_{it} , получим

$$[(I_i^H - I_i^K)/2] = [I_i^{(0)}] + [K_{it}] \times [\varphi_t] \quad (12)$$

где $[K_{it}]$ – прямоугольная матрица суммарных поперечных проводимостей, содержащая n -строк (по числу элементов) и N столбцов (по числу узлов);

$[\varphi_t]$ – столбцовая матрица узловых потенциалов N -го порядка.

С другой стороны, используя продольную проводимость элементов $G_{ij}^n = 1/Z_{ij}$, уравнение (12) можно записать в виде

$$[(I_i^H - I_i^K)/2] = [G_{ij}^n] \times [\varphi_t^H] - [G_{ij}^n] \times [\varphi_t^K], \quad (13)$$

где $\varphi_t^H = U_i^{nH}$, $\varphi_t^K = U_i^{nK}$ – индексы; обозначены соответственно узловые потенциалы матрицы $[\varphi_t]$, относящиеся к началу и концу i -го элемента.

Из уравнений (12) и (13), найдем, соответственно значения продольных токов в начале или конце каждого i -го элемента, выраженные через узловые потенциалы $[\varphi_t]$ со своими коэффициентами $[K_{it}^H]$ или $[K_{it}^K]$, отвечающими соответствующей комбинации поперечных и продольных проводимостей, и коррозионные токи $[I_i^{(0)}]$, полученные для эквипотенциальной расчетной модели. Сбрав продольные токи $[I_i^H]$ и $[I_i^K]$, подходящие к каждому t -му уз-

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЁТА КОРРОЗИОННЫХ ТОКОВ
И ПОТЕНЦИАЛОВ В ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ**

лу и приравнивая их сумму нулю (согласно закону Кирхгофа), получим систему уравнений узловых потенциалов N-го порядка

$$[Y_{pt}] \times [\varphi_t] = -[I_p^c], \quad (14)$$

где $[Y_{pt}]$ – квадратная матрица узловых проводимостей, образованных в результате суммирования коэффициентов $[K_{it}^H]$ и $[K_{it}^K]$, от всех примыкающих к р-му узлу элементов;

$[I_p^c]$ – столбцовая матрица суммы «фиктивных» токов $[I_p^0]$, втекающих в р-ый узел или вытекающих из него от всех примыкающих к этому узлу элементов.

Решив систему уравнений (14), найдем узловые потенциалы $[\varphi_t]$ а, следовательно, и переменную составляющую действующих напряжений U_i^p как полусумму значений $[\varphi_t]$ по концам i-го элемента. Полную величину коррозионных токов $[I_i] = [(I_i^H - I_i^K)]$ для неэквипотенциальной расчетной модели подучим из выражений (12). При этом баланс анодных и катодных токов будет выполняться автоматически за счет того, что сумма токов $[I_p^c]$ по всем узлам сооружения равна нулю.

Электрическая коррозия. В качестве ЭДС в этом случае выступает «Е» блуждающих токов в грунте по месту расположения элементов. В соответствии с этим при эквипотенциальной расчетной модели значения E_i используются для определения относительных напряжений на элементах U_i , действующих на территории сооружения. Для этого, приняв, потенциал произвольного узла за условный нуль, рассчитаем в первом приближении значения относительных потенциалов $\tilde{\varphi}_t^{OT}$ во всех остальных узлах путем последовательного суммирования разности потенциалов $U_i = E_i \times l_i$, (где l_i - длина i-го элемента). Последнее возможно благодаря независимости интегральной величины потенциального поля от пути интегрирования. За окончательное нулевое значение относительных потенциалов (напряжений) принимается средняя величина всех выше найденных узловых потенциалов

$$\varphi_t^{OT} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \varphi_t^{OT} \quad (15)$$

После этого определяются окончательные значения относительных узловых потенциалов $\tilde{\varphi}_t^{OT}$ путем вычитания величины φ_0^{OT} из ранее найденных значения. Далее находятся относительные напряжения U_i , как полусумма потенциалов φ_0^{OT} в узлах по концам i-го элемента. Все последующие расчеты ведутся, как и при грунтовой коррозии, с помощью системы уравнений (1), используя в качестве электродных потенциалов элементов относительные напряжения U_i .

При неэквипотенциальной расчетной модели исходные системы уравнений, аналогичные (3) и (4), записываются в виде

$$[R_{ij}] \times [I_j] = [U_i^n] \text{ и } [Z_{ij}] \times [I_j] + [U_i] = [U_i^n]. \quad (16)$$

Совместное решение уравнений (16), как и ранее, выполняется способом узловых потенциалов. Обратив уравнения (16) и переходя к полуразностям и полусуммам продольных токов по концам элементов получим

$$[(I_i^H - I_i^K)/2] = [K_{it}] \times [\varphi_t]$$

и
$$[(I_i^H + I_i^K)/2] = [G_{ii}^n] \times [\varphi_i^H] - [G_{ii}^n] \times [\varphi_i^K] - [I_i^\phi], \quad (17)$$

где $[I_i^\phi] = [G_{ii}^n] \times [U_i]$ – диагональная матрица фиктивных выравнивающих токов, протекающих по i-му элементу в связи с воздействием на него внешнего электрического поля.

Складывая и вычитая уравнения (17), найдем значения продольных токов в начале и конце каждого элемента. Просуммировав же токи, подходящие к каждому узлу, получим окончательно

$$[Y_{pt}] \times [\varphi_t] = [I_p^{\phi c}], \quad (18)$$

где $[I_p^{\phi c}]$ – столбцовая матрица суммы фиктивных токов I_i^{ϕ} , втекающий в p -ый узел или вытекающий из него ото всех примыкающих к этому узлу элементов (сумма токов $I_i^{\phi c}$ по всем узлам равна нулю).

Определив из уравнений (18) узловые потенциалы $[\varphi_t]$ и отвечающие им значения действующих напряжений $[U_i^n]$, с помощью выражений (17) найдём значения коррозионных токов $[I_i]$.

Совместное действие грунтовой и электрической коррозии. При эквипотенциальном варианте расчетов значения электродных потенциалов и относительных напряжений на элементах складываются, образуя расчетную величину $[U_i]$. При неэквипотенциальной расчетной модели правая часть уравнений узловых потенциалов образуется из соответствующих значений уравнений (9) и (10)

$$[Y_{pt}] \times [\varphi_t] = [I_p \Sigma^{\phi, \varepsilon, \varepsilon}], \quad (19)$$

где
$$[I_p \Sigma^{\phi, \varepsilon, \varepsilon}] = [I_p \Sigma^{\phi}] - [I_p \Sigma^{(0)}].$$

Катодная защита. При применении катодной защиты от коррозии между защищаемой ЗС и анодами подключается источник постоянного напряжения (U_n), которое делится между анодными и катодными частями сооружения пропорционально их входным сопротивлениям R_A и R_K [29]

$$U_A^3 = U_n \cdot \frac{R_A}{R_A + R_K} \quad \text{и} \quad U_K^3 = U_n \cdot \frac{R_K}{R_A + R_K}. \quad (20)$$

При эквипотенциальной расчетной модели напряжения U_A^3 и U_K^3 остаются неизменными для всех элементов соответствующих зон и добавляются (алгебраически) к электродным потенциалам (относительным напряжениям) элементов

$$U_i^C = U_i^A + U_A^3 \quad \text{и} \quad U_i^C = U_i^K + U_K^3, \quad (21)$$

где индексы «А» и «К» означают принадлежность элемента к разрушаемой или защищаемой зонам.

Для определения входных сопротивлений R_A и R_K необходимо собрать в отдельности матрицы поперечных сопротивлений обеих зон и обратить их

$$[G_{ij}^A] = [R_{ij}^A]^{-1} \quad \text{и} \quad [G_{ij}^K] = [R_{ij}^K]^{-1}. \quad (22)$$

Просуммировав собственные и взаимные проводимости элементов каждой зоны, найдем

$$R_A = \left[\sum_{i=1}^{n_A} \sum_{j=1}^{n_A} G_{ij}^A \right]^{-1} \quad \text{и} \quad R_K = \left[\sum_{i=1}^{n_K} \sum_{j=1}^{n_K} G_{ij}^K \right]^{-1}. \quad (23)$$

Все последующие расчеты выполняются по уже рассмотренной схеме с использованием найденных значений (U_i^C) в качестве правых частей системы уравнений (1), задействованной для всех элементов сооружения.

Для неэквипотенциальной расчетной модели значения R_A и R_K определяются входным сопротивлением узлов, к которым, подключены полюса защитного напряжения U_n . При этом напряжения U_A^3 и U_K^3 будут меняться в пределах рассматриваемых зон в зависимости от их неэквипотенциальности. Исходные системы уравнений в этом случае задаются в от-

дельности для разрушаемой и защищаемой зон

$$\left[R_{ij}^A \right] \times \left[I_j^A \right] = \left[U_i^A \right] \text{ и } \left[Z_{ii}^A \right] \times \left[I_j^A \right] = \left[U_i^A \right]; \quad (24)$$

$$\left[R_{ij}^K \right] \times \left[I_j^K \right] = \left[U_i^K \right] \text{ и } \left[Z_{ii}^K \right] \times \left[I_j^K \right] = \left[U_i^K \right]. \quad (25)$$

Используя вышеописанный способ узловых потенциалов, получим соответствующие системы уравнений для обеих зон

$$\left[Y_{pt}^A \right] \times \left[\varphi_t^A \right] = -\left[I_p^A \right] \text{ и } \left[Y_{pt}^K \right] \times \left[\varphi_t^K \right] = -\left[I_p^K \right], \quad (26)$$

где столбцовые матрицы $\left[I_p^A \right]$ и $\left[I_p^K \right]$ содержат только по одному отличному от нуля значению тока I_m^3 , протекающего в защитной цепи между входными узлами m_A и m_K соответствующих зон.

Входные сопротивления обеих зон определяются как собственные значения обращенных матриц для узлов m_A и m_K

$$R_A = \left[Y_{m_A m_A} \right]^{-1} \text{ и } R_K = \left[Y_{m_K m_K} \right]^{-1}. \quad (27)$$

После чего не составляет труда найти величину защитного тока и, далее значения узловых потенциалов в пределах разрушаемой и защищаемой зон

$$I_m^3 = \frac{U_n}{R_A + R_K}, \quad \varphi_p^A = -\left[Y_{pm_A}^A \right]^{-1} \times I_m^3 \text{ и } \varphi_p^K = -\left[Y_{pm_K}^K \right]^{-1} \times I_m^3 \quad (23)$$

Защитное напряжение U_i^3 на i -ом элементе определяются как средняя величина от узловых потенциалов по его концам, а падение защитного напряжения U_i^3 находится как разность этих потенциалов. В последующих расчетах по неэквивалентной модели значения U_i^3 добавляются к электродным потенциалам для грунтовой коррозии (относительные напряжения от блуждающих токов не учитываются), а разность защитных напряжений U_i^3 суммируются с падением напряжения U_i ; для электрической коррозии. Решение выполняется способом узловых потенциалов с использованием системы уравнений (19). При этом для совместного рассмотрения обеих зон входным узлом защищаемой (m_K) и разрушаемой (m_A) зон присваивается, одинаковый номер (m).

Сопоставление экспериментальных и расчетных данных. Были проведены лабораторные измерения для трех вертикальных электродов, расположенных на расстоянии 7 см друг от друга по вершинам равностороннего треугольника. Длина первых двух электродов, выполненных соответственно из меди (Cu) и железа (Fe), равнялась 4,0 см, а третьего, состоящего из сплава (P1), составляла 3,5 см. Радиус поперечного сечения всех элементов 3,0 мм. Удельное сопротивление электролита 10 Ом. В соответствии с этим расчетное значение собственного сопротивления растеканию для первых двух электродов составило 120, а для третьего – 131 Ом. Взаимные сопротивления между электродами 21 Ом.

На рисунке 1 показана диаграмма Эванса, построенная по результатам измерений. Электродные потенциалы для рассматриваемых электродов составили: $U_{Cu} = -112$, $U_{Fe} = -525$ и $U_{P1} = -979$ мВ, а их вольтамперные характеристики отвечают сопротивлениям поляризации порядка 90-120 Ом. Выполненные на ЭВМ расчеты по предлагаемой математической модели дали следующие результаты: $U_0 = 511$ мВ, $I_{Cu} = 2,110$ мА, $I_{Fe} = -0,064$ мА и $I_{P1} = -20,46$ мА. По результатам непосредственных измерений в баке получены значения компромиссного потенциала $U_0 = 500$ мВ и коррозионного тока $I_0 = 2,3$ мА.

Таким образом, результаты измерений и расчетов на ЭВМ оказываются достаточно близкими, а полученные расхождения следует, в основном, объяснять неточными данными по удельному сопротивлению электролита.

Отметим, что при проведении расчетов на ЭВМ для учета нелинейной зависимости сопротивления поляризации от тока коррозии потребовался всего один дополнительный ите-

рациональный расчет.

С использованием разработанной математической модели был произведен расчет грунтовой коррозии и электрокоррозии модели заземлителя (рисунок 2) без защиты и с защитой.

Получены результаты расчетов для случая грунтовой коррозии без защиты в разрез центрального узла V ($U^3 = 6$ В).

При отсутствии защиты коррозионный ток I_i почти полностью определяется действующим на элемент потенциалом ($U_i - U_0$) и его собственным поперечным сопротивлением R_{ij} вследствие малой величины R_{ij} . Влияние неэквипотенциальности мало: для $Z_{np} = 0,1$ Ом/км не превышает десятых долей процента, $Z_{np} = 10$ Ом/км - $1 \div 2\%$.

Хотя модули разности потенциалов $|U_5 - U_0| \cong |U_7 - U_0|$ коррозионный ток $|I_7| = 157$ мА почти на порядок превосходит по величине ток $|I_5| = 16$ мА. Это определяется большим (почти в 3 раза) сопротивлением поляризации $R_5^A = 57,1$ Ом по отношению к $R_7^K = 20,6$ Ом.

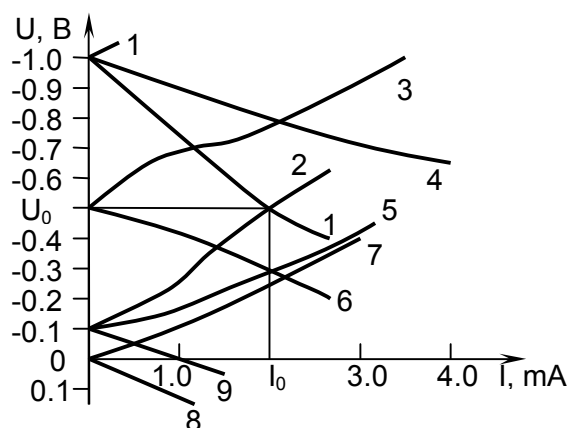


Рисунок 1 – Диаграмма Эванса (1,2-катодная и анодная кривые поляризации PI1; 3,4-то же для Fe; 5,6-тоже для Cu; 7-сопротивления $R_u^z = 120$ Ом; 8-то же для $R_u^z = 131$ Ом; 9,10-вольтамперные значения для суммарной катодной и анодной характеристики)

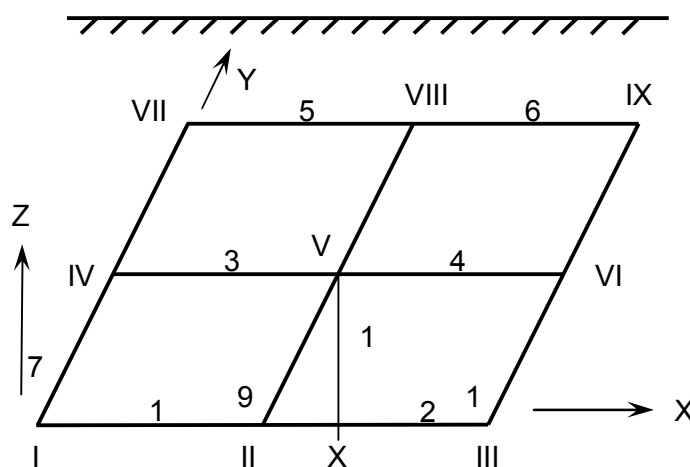


Рисунок 2 – Расчетная модель заземлителя (арабские цифры-номера элементов; римские цифры-номера узлов) $S = 50 \times 50$ м²; $l_3 = 25$ м; $r_3 = 0,024$ м; $h = 0,5$ м; $\rho_r = 100$ Ом·м; $l_{BEPT} = 5$ м; $Z_{np} = 0,1; 10$ Ом/км

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЁТА КОРРОЗИОННЫХ ТОКОВ
И ПОТЕНЦИАЛОВ В ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ**

В случае защиты прямая корреляция между действующим на элемент напряжением ($U_i + U_i^3 - U_0$), его поперечным сопротивлением R_{ij} и коррозионный ток I_i нарушается из-за действия взаимных сопротивлений R_{ij} , особенно со стороны j -ых элементов с большими коррозионными токами I_j . Так, для элемента №10, обладающего минимальным потенциалом 175 мВ и сопротивлением $R_{ij} = 12,4$ Ом, получен максимальный катодный ток 33,7 мА. В то же время для элемента №2 (потенциал 596 мВ и $R_{ij} = 33,2$ Ом) катодный ток 18,1 мА.

Защита от грунтовой коррозии достигнута, о чем свидетельствуют положительные (катодные) значения токов на горизонтальных элементах.

При рассмотрении электрической коррозии напряженность блуждающих токов принималась $E_x = E_y = 40$ мВ/м для $E_z = 0$. Значения токов без защиты определяются, как и при грунтовой коррозии, действующими напряжениями и собственными поперечными сопротивлениями.

При наличии защиты значительную роль, как и при грунтовой коррозии, начинают оказывать взаимные сопротивления между элементами. Так, для элементов №4 и №10 получены положительные (катодные) коррозионные токи несмотря на отрицательные значения действующих на них напряжений ($U_i + U_i^3 - U_0$) = -196 мВ, вследствие сильного влияния отрицательного тока ($I_B = -186$ мА), создаваемого вертикальным элементом и повышенная величина (1,93 Ом) взаимных сопротивлений $R_{4.13}$ и $R_{10.13}$ падение напряжения от которых (-360 мВ) с избытком компенсируют отрицательные значения действующего на эти элементы напряжения.

Примененная защита от электрической коррозии оказалась недостаточной для элементов №5, №6, №11 и 12, о чем свидетельствуют действующие на них отрицательные коррозионные токи.

Полученные результаты и область их применения. Рассмотренная математическая модель положена в основу программы, написанной для ПЭВМ.

На стадии проектирования сооружения программа позволит рассчитать возможные коррозионные токи и потенциалы, а также необходимые меры защиты, используя в качестве исходной информации результаты предпроектных изысканий и литературные данные.

При эксплуатации сооружения комплексное использование расчетов и измерений существенно сократит объем последних и позволит оптимизировать необходимую защиту от коррозии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Сафрошкина, Л.Д.** Расчет коррозионных токов для модели заземляющей системы [Текст]: / Л.Д. Сафрошкина, Ю.Р. Гунгер, В.Е. Дмитриев, Ю.В. Демин // Сб. «Известия ТПУ», г. Томск, 2004. -№3. т.307. -С. 109-113.

2 **Сафрошкина, Л.Д.** Расчет катодной защиты эквипотенциальных заземляющих систем электроустановок [Текст]: / Л.Д. Сафрошкина, Ю.Р. Гунгер, В.Е. Дмитриев, Ю.В. Демин // Сб. «Известия ТПУ», г. Томск, 2004. -№4. т.307. -С. 131-133.

УДК 623.456

СНИЖЕНИЕ ШУМА СРЕДСТВАМИ ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ, ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ И ЭКРАНИРОВАНИЯ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Д.В. Плаксин

Подтверждено единство механических явлений в аналогичности дифференциальных уравнений.

Так условия идеальной виброизоляции четко определены тремя законами динамики. Этими же законами определяются условия «идеальной» шумозащиты (изоляция от шума). В том и другом случае коэффициенты жесткости (далее просто «жесткость») элементов находящимися между источником шума и объектом, который нужно изолировать от шума должны быть равны (или стремиться) нулю или массы взаимодействующих тел должны стремиться к бесконечности.

Дифференциальные уравнения (дифференциальные зависимости, дифференциальные связи) второго порядка «требуют» учитывать результаты интегрирования. Таких как скорости перемещения исследуемых объектов, т.е. кинетической и потенциальной энергий и работу сил. Свободные колебания обусловлены попеременным переходом в колебательной системе кинетической энергии в потенциальную и обратно. Кинетическая энергия накапливается элементами массы, потенциальная - упругими элементами.

Можно сказать другими словами: нельзя забывать, что закон сохранения энергии еще никому не удалось нарушить. Выше сказанное позволяет описать поведения систем тел, имеющих массы и жесткости их механических связей, неравных нулю или бесконечности.

Для примера можно взять судовую энергетическую установку теплохода ОТА- 2000. Судовой двигатель колеблется приблизительно с частотой 5-6 Гц, что в свою очередь не создает сильного шума так как человеческий слух начинает воспринимать шум с 16 Гц. Соответственно дизель жестко связан с корпусом судна и жесткость этой связи не равна нулю. Все это приводит к тому, что корпус судна начинает колебаться и энергия этих колебаний на таких частотах рассеивается очень слабо, а поэтому в движение вовлекаются все элементы судна. В первую очередь это обилие металлических конструкций, по которым звук может проникать в отдаленные помещения. Значительная насыщенность помещений мощными и шумными механизмами – дизелями, вентиляторами, насосами, имеющими, как правило, переменные режимы работы, а значит и генерации переменных частот. А в жилых и рабочих помещениях, как правило, найдутся элементы конструкций, упомянутые выше частоты.

Недопустимость применения используемых в стационарных объектах тяжелых звукозащитных конструкций. Массы этих элементов и жесткости их связей различные. Говоря простым языком, они не предсказуемы. Из этого следует, что частота собственных колебаний этих элементов тоже будет разная.

Если последние имеют частоту собственных колебаний больше 16 Гц в два-пять раз, то исходящая от дизеля частота собственных колебаний приводит к резонансам различных элементов судна. Наибольшие вибрационные колебания испытывают кормовые оконечности корпусов (в районе гребных винтов). Перекрытия машинного отделения и надстройки (жилые, производственные и общественные помещения). Чаще всего звуковая вибрация возбуждается переменными силами. Наиболее интенсивная вибрация наблюдается в момент резонанса, т.е. совпадение собственных и вынужденных колебаний.

При расположении жилых, общественных и служебных помещений в близи наиболее шумных отсеков (машинного отделения и ахтерпика) создаются условия, когда на команду

СНИЖЕНИЕ ШУМА СРЕДСТВАМИ ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ, ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ И ЭКРАНИРОВАНИЯ

не только на вахте, но и свободное время и период сна воздействует шум повышенного уровня. Это приводит к тому, что профессиональная потеря слуха, вызванная воздействием шума у членов судовых экипажей, отмечаются чаще, чем у работников промышленных предприятий.

Известно следующее, что шум и вибрация сильно снижают работоспособность человека, нарушают координацию движения, ухудшают реакцию. Также могут привести к поражению отдельных систем организма: вестибулярного аппарата, нервной и других систем, вызывать изменения мышечных и костных тканей. Отражение звуковых волн от переборок кают и образование стоячих звуковых волн внутри помещений приводит к зависимости показаний микрофонов от их пространственного расположения, что затрудняет последующее расположение звукоизоляции.

Виброизолирующие устройства силовой установки должны остановить поток энергии низкочастотных колебаний с помощью устройств нулевой (близкой к нулевой) жесткости, а шумоизолирующие устройства должны остановить поток энергии высокочастотных колебаний переборки или говоря простым языком, остановить поток энергии колебаний проходящий через воздух, хотя воздух, так или иначе, является проводником. Эта проблема усложняется тем, что обеспечение изоляции на высоких частотах имеет свою специфику. Амплитуда таких колебаний очень мала, а ускорение велико и отсюда следует вывод, что и снижение жесткости связей мало эффективно, а увеличение масс будет наоборот эффективным.

Кроме того, энергия упругих деформаций (шумящих переборок производственных и жилых помещений) на больших частотах хорошо уходит в тепло. Учитывая выше сказанное нельзя останавливаться на достигнутом уровне ранее другими научными трудами. На сегодняшний день эксперименты в этой области продолжаются, идет поиск новых идей и материалов, моделируются различные конструкции. Один из таких экспериментов можно рассмотреть подробнее. В борьбе против шума и вибрации нами разрабатываются новые шумоизоляционные материалы. Используем новые технологии, применяемые в строительстве, такие как монтажная пена, различные герметики, гипсокартон и многое другое. В лабораторных условиях проводим эксперимент с применением песка и геля. В виде геля пока используем сильно пересоленный обычный картофельный крахмал. В этот гель добавляется песок, он там находится в виде взвесей. Всю эту массу можно наносить на материю. После того как эта масса немного уплотнится, и подсохнет, ткань используем как занавески на заранее изготовленном источнике вибрации. Внутри макета был, расположен генератор звука (динамик). После того как привели в действие генератор колебаний, зашториваем горловую часть генератора занавесками. Звук, исходящий от генератора испытал впереди себя преграду.

Проведено большое количество экспериментов с самыми разнообразными звуковыми барьерами. Проведенные нами эксперименты практически всегда показывали положительные результаты для неоднородных звуковых барьеров. Особенно содержащие в своей структуре гель с взвешенными тяжелыми частицами. Такого как речной песок различных фракций, свинцовая дробь и чугунная крошка и др. Что в свою очередь вдохновляет нас на новые эксперименты, так как идей очень много и нужно постараться осуществить в действительности. Ведь проблема защиты вибрации и шума еще не решены, и многие ученые мира ищут правильное решение, и кто знает, может, мы сможем разрешить эту проблему.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Клюкин, И.И.** Борьба с шумом и звуковой вибрацией на судах [Текст]: / И.И. Клюкин // -Л.: Судостроение, 1971. -416 с.
- 2 **Изак, Г.Д.** Шум на судах и методы его уменьшения [Текст]: / Г.Д. Изак, Э.А. Гомзиков // -М.: Транспорт, 1987. -303 с.

УДК 620.91

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Т.В. Пилипенко

На сегодняшний день из возобновляемых источников производится 200 млрд. кВт·ч энергии. В данном направлении ведутся разработки многими учеными России и мира.

Современные тенденции развития мировой энергетики показывают, что для удовлетворения мировых энергетических потребностей в условиях демографического роста, ресурсных и экологических проблем должны быть разработаны конкурентоспособные экологически чистые новые энергетические технологии, создан рынок энергетического оборудования, использующего возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Технологии гидроэнергетики, ветроэнергетики, солнечного и горячего теплоснабжения, получения энергии из биомассы для коммерческого использования представляют реальную альтернативу традиционным энергетическим технологиям. При наличии ресурсов с помощью этих экологически чистых источников энергии могут быть решены локальные проблемы энергообеспечения как в регионах России, так и в отдельной деревне или доме. В России в связи со сложной ситуацией в экономике и недостатком финансирования национальной программы развития возобновляемой энергетики это направление работ развивается крайне слабо. В то же время нарастающий кризис в энергетике обостряет значимость внедрения возобновляемых источников энергии и энергосберегающих технологий а также растет заинтересованность регионов России в введении энергетических мощностей на основе ВИЭ.

Человечеству не грозит энергетический кризис, связанный с истощением запасов нефти, газа, угля, если оно освоит технологии использования возобновляемых источников энергии. В этом случае будут также решены проблемы загрязнения среды обитания выбросами электростанций и транспорта, обеспечения качественными продуктами питания, получения образования, медицинской помощи, увеличения продолжительности и качества жизни.

Международное энергетическое агентство подсчитало, что сегодня из возобновляемых источников производится 200 млрд. кВт·ч энергии. В настоящее время ведутся разработки в данном направлении многими учеными России и всего мира. Остановимся на некоторых из наиболее распространенных возобновляемых источников энергии.

Более 85 % энергии, полученной ВИЭ, приходится на ветряки [1]. Наиболее преуспела в освоении силы ветра Европа, особенно Германия (совокупная мощность ее ветряков в 2006 году – 18427 МВт) и Испания (10028 МВт). Россия же довольствуется скромными 7 МВт. Еще в начале 1930-х годов в СССР были разработаны ветроустановки мощностью от 1 до 10 МВт, но затем это направление было признано бесперспективным, в то время как самый мощный из ныне действующих ветряков на северо-западе Германии – это установка мощностью всего 3 МВт. Закономерность развития ветровых источников энергии за последние годы приведена в таблице 1.

Первая лопастная машина, преобразующая энергию ветра в движение – парус. Под ним ходили еще древние египтяне, и до сих пор у паруса самый высокий КПД среди всех ветроагрегатов. Ветряные мельницы появились в Персии во 2 веке до н.э. и широко распространились в Европе с середины 16 века. В России к концу 19 века работало более 200 тыс. самых разных ветряных мельниц: в северных районах-с деревянными лопастями, в южных-с полотняными, как паруса, крыльями. У одних мельниц вращалась только «голова», другие

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ
ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

поворачивались за ветром целиком.

На сегодня в России функционируют ВЭС, подключенные к сетям энергосистем общей мощностью 2.8 МВт: Калмыцкая ВЭУ - 1 МВт (опытная), Воркутинская ВЭС - 1.5 МВт (6 установок), Ростовская ВЭС - 0,3 МВт (10 установок).

Таблица 1 – Действующие мощности ветряков, МВт

Регион	2003 г.	2004 г.	2005 г.	2006 г.
Европа	17500	23357	34630	40865
Северная Америка	4452	4881	7196	9826
Латинская Америка	102	126	227	232
Азия	1920	2184	3774	5923
Тихоокеанский регион	410	524	1501	2105
Африка и ближний восток	144	144	246	256

Ресурсы возобновляемой энергии огромны и доступны каждой стране. Количество солнечной энергии, поступающей на территорию России за неделю, превышает энергию всех российских запасов нефти, газа, угля и урана. И это несмотря на то, что Россия обладает 40% мировых ресурсов природного газа, 30% угля и 13% нефти.

В последнее время все более популярными являются разработки, основой которой являются технологии быстрого пиролиза биомассы, торфа, угля, растительного сырья, позволяющие 80% органического вещества превратить в жидкое или газообразное топливо [2]. В России размещено 20% лесных ресурсов Мира. Из одной тонны древесных опилок можно получить более 700 кг жидкого топлива. Соединив эту технологию с технологией выращивания быстро растущих плантаций биомассы с урожайностью 40 т сухой массы с гектара, можно децентрализовать производство жидкого и газообразного топлива в безлесных районах и обеспечить им каждого фермера и каждый сельский район. Для обеспечения сельского хозяйства России или любой другой страны жидким топливом.

Российские ученые [2] разработали новые безхлорные технологии получения и использования кремния для производства электроэнергии в солнечных батареях, в которых 1 кг кремния по количеству производимой за 50 лет электроэнергии эквивалентен 75 тоннам нефти. Известно, что кремний занимает по запасам первое место в земной коре (29,5%), уступая только кислороду. Но мало кто знает, что кремний называют нефтью XXI века. Сейчас кремний стоит на рынке в два раза дороже урана, хотя он не радиоактивен, как уран, и содержание кремния превышает содержание урана в земной коре в 100000 раз. Ученые считают, что новые экологически чистые технологии позволят делать крыши и фасады домов из дешевых кремниевых солнечных батарей и получать электрическую энергию без длинных ЛЭП так же, как это делается сейчас без проводов в технологии телефонной спутниковой связи.

Другим примером использования солнечной энергии может служить применение солнечных концентраторов [2], которые позволяют быстро достигнуть мегаваттного уровня производства при 2-5 кратном снижении стоимости солнечных фотоэлектрических станций.

В России созданы два принципиально новых типа солнечных концентраторов квазистационарного и стационарного типов. В квазистационарном концентраторе слежение за Солнцем осуществляется один раз в сутки, а концентрированное солнечное излучение от отдельных концентраторов суммируется и по световоду направляется к приемнику. Площадь концентраторов и световодов может достигать нескольких квадратных километров, а передаваемая мощность концентрированного солнечного излучения – одного миллиона киловатт.

Законы оптики не позволяют создавать стационарные концентраторы круглогодичного действия с концентрацией более 2,5. Однако это ограничение действительно только для приемника с одной рабочей поверхностью. Использование созданных в России еще в семидесятые годы солнечных элементов с двухсторонней рабочей поверхностью позволило уве-

личить коэффициент концентрации стационарных концентраторов до 5 Вт. Особенно эффективно использование новых стационарных солнечных модулей с концентраторами для солнечных фасадов и крыш зданий и получения электрической энергии и тепла. Данный вид использования ВИЭ также довольно распространен, особенно в США и Германии.

Российские ученые разработали новый метод передачи электроэнергии по одному проводнику [2] без потерь на сопротивлении линии. В качестве материала проводника вместо алюминия и меди используют сталь или даже неметаллические проводящие среды. Потери энергии в однопроводной ЛЭП снижаются в 2-2,5 раза, а расход цветных металлов в 50-100 раз. На основе нового метода передачи энергии создаются ЛЭП без прополок, которые соединят генераторы и потребители энергии в каждой стране в мировую энергетическую систему.

Ученые, используя компьютерное моделирование [2], установили, что энергосистема из солнечных электростанций, установленных на Чукотке и в Испании, сможет работать круглосуточно в течение 6 месяцев обеспечить все страны Европы и Россию электрической энергией.

В данной статье рассмотрены лишь некоторые из видов ВИЭ. В настоящее время ВИЭ находят все большее применение, в связи с тем, что невозобновляемые источники энергии подвержены истощению. Каждый год появляются новые разработки ученых в данной области. Поэтому, вполне вероятно, что в ближайшем будущем мировая энергетика будет черпать свои ресурсы именно в ВИЭ, одним из главных преимуществ которой является экологическая безопасность, что в наше время играет большую роль для жизнеобеспечения всего населения планеты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Все ясно [Текст]:** / №2(72). 2007. -С. 118-119.

2 **Стребков, Д.С.** Проблемы развития возобновляемой энергетики [Текст]: Возобновляемые источники энергии / Д.С. Стребков // М., 2002. -310 с.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.311

ЭЛЕКТРОТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ И БЫТОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»
ФГОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет»

**С.В. Горелов, А.В. Бастрон, С.Б. Долгушин,
В.Е. Крышталёв, С.Г. Куликов, Я.Ю. Кензап**

Приводится классификация составных элементов нетрадиционной энергетики и анализ возобновляемых и невозобновляемых источников энергии. Учитываются особенности электротеплоснабжения потребителей различных категорий.

Из системно-аналитического обзора литературных источников видны особенности энергообеспечения производственной сферы и населения страны, в том числе в сельском хозяйстве. По классификации С.В.Алексеевко, Н.И.Воропая, Б.В.Лукутина, и др. энергия различных видов топлива (уголь, продукты нефтепереработки, газ) и ядерное топливо относят к

ЭЛЕКТРОТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ И БЫТОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

основным энергоресурсам [1-5]. В зависимости от источников происхождения и роли в экосистеме энергию подразделяют на возобновляемую и невозобновляемую.

Непосредственно извлекаемую в природе энергию воды, топлива, ветра и др. называют первичной, а полученную после ее преобразования на специальных станциях - вторичной энергией. Это энергия – электрическая, горячей воды и пара, переработки бытовых отходов (ТБО) и т.п. (рисунок 1) [4].



Рисунок 1 – Составные элементы нетрадиционной энергетики

В перспективе доля возобновляемых и нетрадиционных источников энергии будет увеличиваться, при различном их процентном соотношении (рисунок 2) [1,4].

В последнее время укрепляется уверенность, что на смену углеродсодержащих топлив приходит водородная энергетика, предусматривающая следующие технологии:

- крупномасштабное производство водорода из ископаемых, синтетических, возобновляемых источников энергии;
- производство топливных элементов;
- использование водорода для получения энергии широкого круга потребителей [4].

Вышеуказанное позволяет учесть особенности электротеплообеспечения промышленности, агропромышленных комплексов (АПК), бытовых потребностей населения, например, Сибири и Дальнего Востока включающие:

- высокие требования к надежности систем электротеплоснабжения из-за суровых климатических условий и значительной протяженности линий электропередачи;
- большие затраты на содержание производственной и социальной инфраструктуры.

В развитых странах потребление различных видов энергии возрастает. В тоже время собственные энергоресурсы, например, Европейского Союза (ЕС) ограничены. В настоящее время энергопотребности ЕС удовлетворяются на 41% за счёт нефти, 22% – газа, 16% – угля, 15% – атомной энергетики и 6% – за счёт возобновляемых и нетрадиционных источников

энергии (ВНИЭ).

Следует учитывать, что энергетика от ВНИЭ ориентируется на существующие ресурсы данного региона и их масштабному использованию должен предшествовать длительный мониторинг мощности источников и структурных потребностей региона в энергии. Периодичность потоков энергоресурсов во времени далеко не всегда совпадает с реальными потребностями в энергии. Смена времени года и географическое положение региона влияют на регулярность и интенсивность потоков возобновляемой энергии. В тоже время комплексное применение различных видов ВНИЭ и традиционных источников энергии повышает надёжность энергоснабжения.



Рисунок 2 – Структура производства электроэнергии в России, % (по состоянию на 2004 г.)

Планируется увеличение объёмов строительства объектов ВНИЭ, включающих малую гидроэнергетику, ветроэнергетику, фотоэнергетику, геотермальную энергию и энергию переработки биомассы.

В области гидроэнергетики малыми ГЭС (миниГЭС) мощностью от 100 до 30000 кВт с ограничением диаметра колеса гидротурбины до 3,0 м. и мощности одного агрегата до 10000 кВт; с установленной мощностью менее 100 кВт. Строительство малых ГЭС требует незначительных капитальных вложений по сравнению с затратами на крупные ГЭС и потенциал миниГЭС достаточно большой в Азиатской части России.

В агрегатах микроГЭС применяют генераторы тока синхронного или асинхронного типов. К основным показателям качества подобных источников питания относятся параметры номинальной величины и частоты напряжения.

Одним из преимуществ малых ГЭС является возможность автоматизации её работы. Снижение затрат на обслуживание значительно уменьшает себестоимость электроэнергии.

Наряду с сельскохозяйственными потребителями микроГЭС, ветроэлектрическая станция (ВЭС) и другие автономные источники энергии могут использоваться на многих объектах речного транспорта (несамоходные суда транспортного флота, дебаркадеры, брандвахты,

береговые и плавучие знаки судоходной и береговой обстановки), потребляющих незначительное количество электроэнергии.

Уже к середине XX века по ряду причин (из которых на первом плане – экологическая безопасность и ограниченность природных ресурсов Земли) в наиболее развитых странах были приняты государственные программы поддержки ветроэнергетики. В свое время лидером по использованию энергии ветра была Россия. Начиная с 30-х годов было освоено производство разнообразных ветроустановок мощностью от 0,3 до 4 кВт, которые выпускались серийно.

Несмотря на развитые энергетические сети, Россия имеет большую потребность в автономных ВЭУ. При этом для бесперебойного электроснабжения потребителей при безветрии ВЭУ предусматривают установку дизельгенераторов или солнечных батарей.

Рост обеспокоенности проблемами окружающей среды и развитие новых технологий создают базу для расширенного использования энергетики возобновляемых ресурсов и фотоэнергетики. Несмотря на значительные возможности фотоэнергетики для использования на удалённых от централизованного энергоснабжения территориях и в городах, доля этого сектора энергетики всё ещё мала. Но тенденции роста применения солнечных технологий свидетельствуют о перспективности этого направления [1, 4, 5].

Общее количество энергии, идущей от Солнца к Земле в 3000 раз больше энергии всех остальных видов топлива. Преобразование солнечной энергии предусматривает её изменение в электрическую и тепловую. Энергоустановки могут быть следующих видов:

- преобразующие солнечную энергию непосредственно в электрическую с использованием различных фотоэлементов;
- предусматривающие нагревание при помощи солнечной энергии воды или другого теплоносителя до получения пара, направляемого в турбину, которая вращает синхронный генератор;
- накапливающие солнечную энергию в устройствах, заполненных теплоаккумулирующей смесью, использующую тепло фазового превращения.

Одним из направлений нетрадиционной энергетики является разработка гелиоаэробарических станций (ГАБ ТЭС). Такие источники энергии оптимизируют действие компонентов солнечной энергии (световое излучение; термические воздушные потоки, образующиеся при нагревании земной поверхности; вода, которая проходит в атмосфере цепочку превращений «вода-пар», и ветер). Планируется их использовать, в основном, в сельской местности.

Преобразование солнечной энергии в химическую энергию растений, получившее название биосинтез, имеет большое значение. Энергию получают следующими способами:

- сжигание твёрдых бытовых отходов (ТБО) крупных городов;
- пиролиз, газификация, синтез твёрдых органических веществ с получением искусственного бензина и других топлив;
- биоконверсия органических веществ животного или растительного происхождения без доступа воздуха с образованием биогаза, бутанола и др.;
- применение растительных масел в качестве горючего двигателей внутреннего сгорания.

Биологическое топливо – биомасса, является одним из главных по значимости топливом в России и за рубежом. Продукты биомассы сельскохозяйственных отходов, лесной и деревообрабатывающей промышленности в РФ составляют около 1 млрд. т. Россия обладает более 40% мировых запасов торфа, большая часть которого находится в Сибири.

Рост цен на энергоресурсы также вызывает интерес к использованию технологий биоконверсии органических отходов для получения энергии.

Большинство возобновляемых источников энергии обеспечивают энергией потребителей циклически. Аккумуляторы энергии повышают надёжность электроснабжения. Аккумуляирование энергии происходит на физических и химических принципах (рисунок 3) [1, 4].

Физические принципы запаса энергии заключаются в аккумуляции не только теплоты, но и механической энергии.

В тепловых аккумуляторах физической теплоты на основе воды или других однофазных веществ температура в процессе накопления и отдачи теплоты изменяется во времени.

Использование в качестве рабочего материала некоторых веществ, изменяющих своё агрегатное состояние, позволяет поддерживать температуру постоянной, соответствующей температуре фазового перехода.

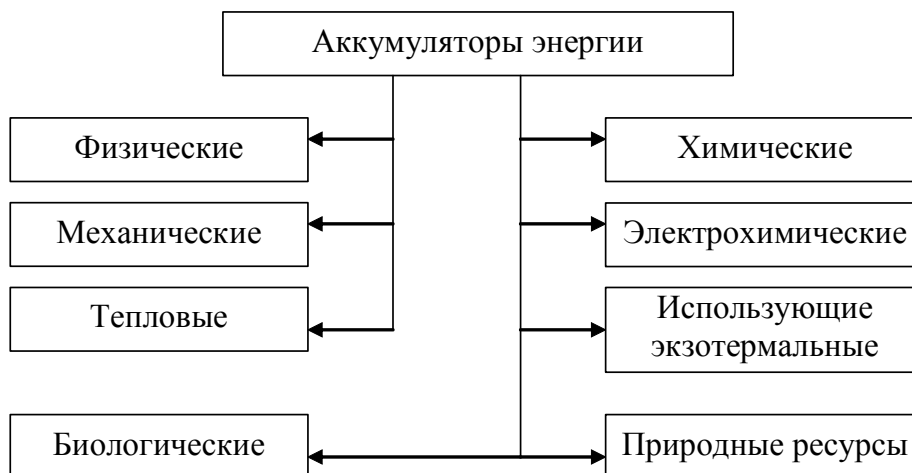


Рисунок 3 – Основные виды аккумуляторов энергии, использующие физические и химические принципы работы

Аккумуляция механической энергии происходит на гидроаккумуляторных электростанциях, имеющих избыток электрической энергии. Вода, после прохождения гидротурбины, насосами перекачивается в водохранилище. Это позволяет поддерживать постоянный напор воды в течение всего года.

При проведении экзотермических реакций выделяется аккумулированная теплота, которая может использоваться как полезная в технологических процессах. На основе электрохимических реакций производится аккумуляция энергии в гальванических элементах многократного и однократного пользования. К элементам многократного пользования относятся кислотные и щелочные аккумуляторы, выдерживающие циклы разрядки и зарядки.

Проведённые исследования показывают, что аккумуляция энергии позволяет:

- добиваться повышения потенциала энергии до требуемого качества при накоплении низкопотенциальной энергии;
- превращать энергию одного вида в энергию другого вида;
- повысить качество электроснабжения потребителей;
- обеспечить длительное энергоснабжение в периоды его недостатка или отсутствия.

Энергоснабжение потребителей на основе возобновляемых источников наиболее эффективно может быть осуществлено не только с использованием аккумуляторов энергии, но и на основе комбинированных систем.

Бесперебойное энергоснабжение агропромышленных предприятий и сельского населения только от некоторых возобновляемых источников затруднительно из-за непостоянства потоков энергии. Поэтому более эффективно использовать комбинированные схемы электроснабжения, одна из которых приведена на рисунке 4 [1].

Стабилизация частоты выходного напряжения при изменяющейся частоте вращения ветроагрегата или гидротурбины имеют некоторые различия. Гидротурбины рассчитывают на работу с различной частотой вращения, определяемой её характеристиками, нагрузкой потребителя и регулируемой «балластной» нагрузкой [1, 2]. Если к последней относят полезную нагрузку, то происходит автоматическое перераспределение электрической энергии между различными потребителями.

При работе микроГЭС возможна коммутация нагрузок, мощность которых близка к номинальной мощности станции. В переходных режимах процессы пуска от микроГЭС асинхронных двигателей связаны с возникновением пусковых токов, достигающих семикратного превышения от номинального значения. Поэтому при соизмеримости мощностей привода, источника питания и нагрузки возникают электромагнитные и электромеханические процес-

**ЭЛЕКТРОТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ
И БЫТОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

сы, протекающие одновременно и оказывающие взаимное влияние друг на друга. Имитационное моделирование позволяет выявлять закономерности физических процессов в динамических режимах автономной системы электроснабжения [1, 2]. Эксплуатация сельских электроэнергетических систем с ВНИЭ должна также учитывать электромагнитную совместимость технических средств, подверженных действию электромагнитных помех [1].

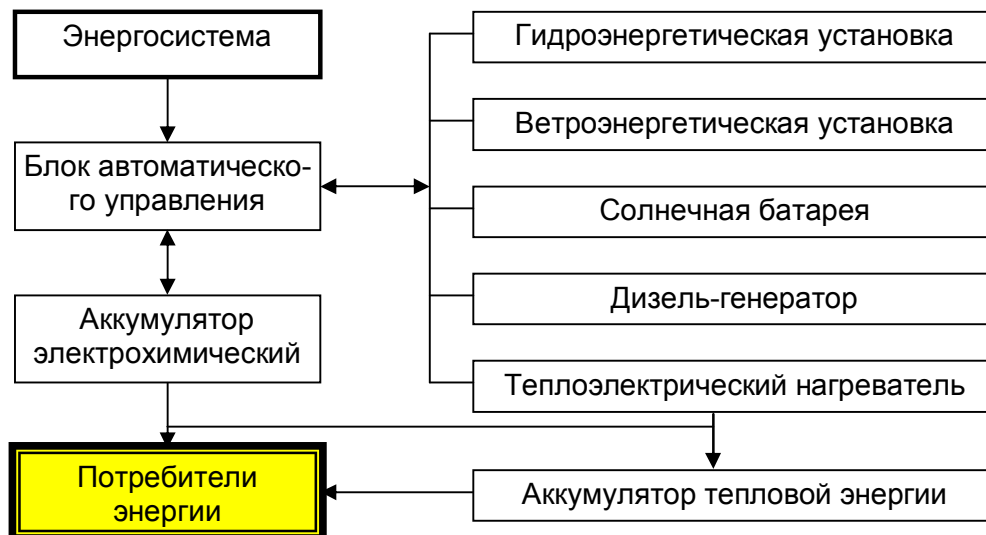


Рисунок 4 – Блок-схема комбинированного энергоснабжения потребителей

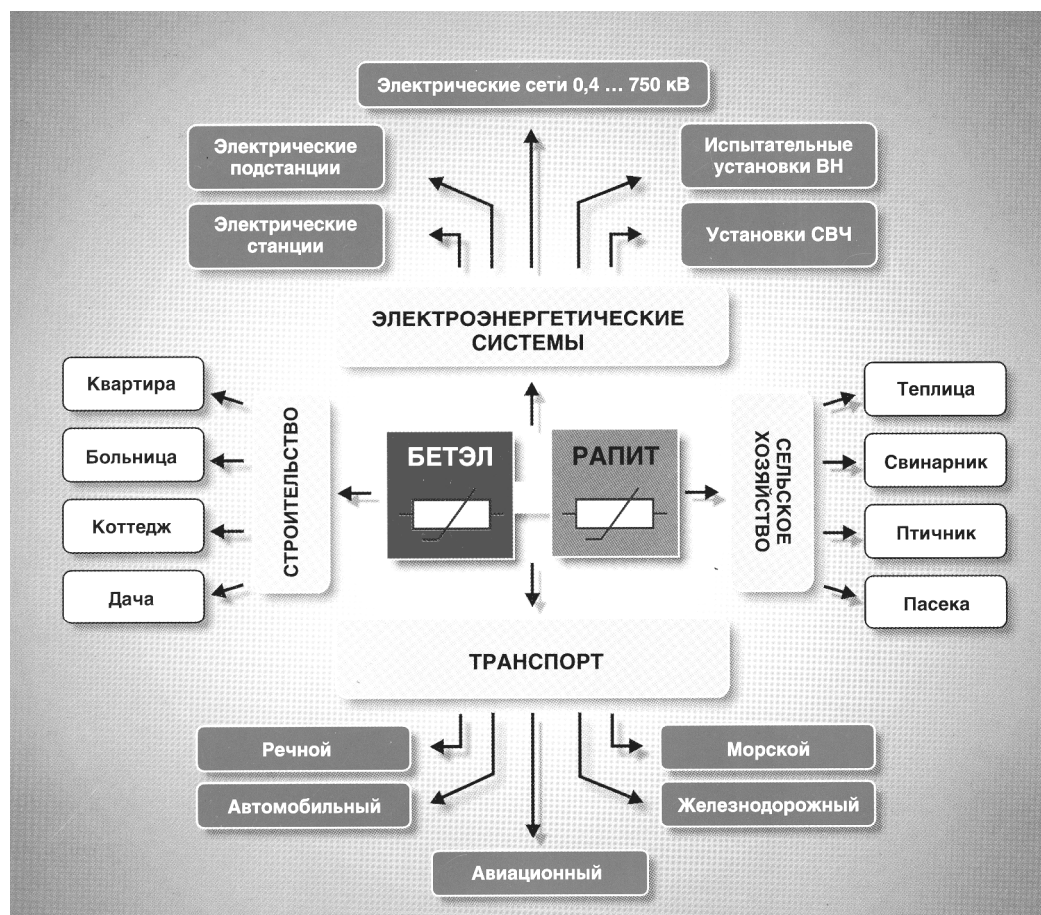


Рисунок 5 – Применение изделий из бетэла и рапита в различных областях промышленных и бытовых потребителей

Проведённый анализ показал, что для непосредственного преобразования электрической энергии в тепловую, повышения надёжности электроснабжения, качества электроэнергии и электромагнитной совместимости оборудования перспективным направлением является применение резисторов и электронагревателей из металлов и композитов. В электроэнергетических сетях от 0,4 до 110 кВ, автотракторном производстве, строительстве жилых и промышленных объектов сельскохозяйственного профиля эффективно применение электротехнических изделий из резистивных композиционных материалов цилиндрического и пластинчатого типов, например, из электропроводного бетона – бетэла и рапита, изготавливаемых на основе высокотемпературных синтетических каучуков и полимеров (рисунок 5) [1, 6, 7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Энергоснабжение стационарных и мобильных объектов [Текст]:** учеб. пособие: в 3 ч./ С.В. Горелов [и др.]; под ред. В.П. Горелова и Н.В. Цугленка // -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2006: Ч.1 – 243 с.; Ч.2 – 348 с.; Ч.3 – 228 с.
- 2 **Лукутин, Б.В.** Энергоэффективность преобразования и транспортировки электроэнергии [Текст]: / Б.В. Лукутин // -Томск: Курсив, 2002. -130 с.
- 3 **Федянин, В.Я.** Возможности использования возобновляемых источников энергии для создания комфортных условий в быту [Текст]: / В.Я. Федянин, В.В. Чертищев // -Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2003. -66 с.
- 4 <http://www.sbras.nsc.ru/newenergy>
- 5 <http://www.intersolar.da.ru>
- 6 **Горелов, С.В.** Контактные устройства резисторов из композиционных материалов [Текст]: / С.В. Горелов [и др.]; под ред. В.П. Горелова // -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2002. -236 с.
- 7 **Горелов, С.В.** Резисторы из композитов в системах энергообеспечения агропромышленных комплексов [Текст]: / С.В. Горелов, Е.Ю. Кислицин, Н.В. Цугленок // Вестник Крас ГАУ. 2006. №13. -С. 68-72.

ЭКОЛОГИЯ

УДК 555.32

ПОИСК И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНОГЕННЫХ СИТУАЦИЙ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

С.С. Голушко, С.А. Круговых, И.Н. Яичникова

В обзоре уделяется особое внимание отслеживанию и идентифицированию чрезвычайных экологических и техногенных ситуаций для создания корпоративной сети передачи данных. Рассмотрены естественно-научные проблемы защиты окружающей среды, в частности, проблеме возникновения и тушения пожаров в лесостепных массивах, проблеме возникновения смерчей, ураганов и торнадо, а также сохранению природных ресурсов, в том числе Сибири и Дальнего востока.

Введение. В последнее время перед учеными встала нелегкая задача – устранение и предупреждение техногенных и экологических катастроф. Эта проблема имеет высший приоритет, так как в наше время существует тенденция к экологическим и техногенным катаст-

**ПОИСК И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ
И ТЕХНОГЕННЫХ СИТУАЦИЙ**

рофам, путем испытания атомного и ядерного оружия, которое может нанести непоправимый вред окружающей среде. Для решения этой проблемы была создана ГИМС. Основная идея состоит в том, что наблюдение за территорией любого масштаба реализуется в рамках комплексной системы сбора и анализа данных.

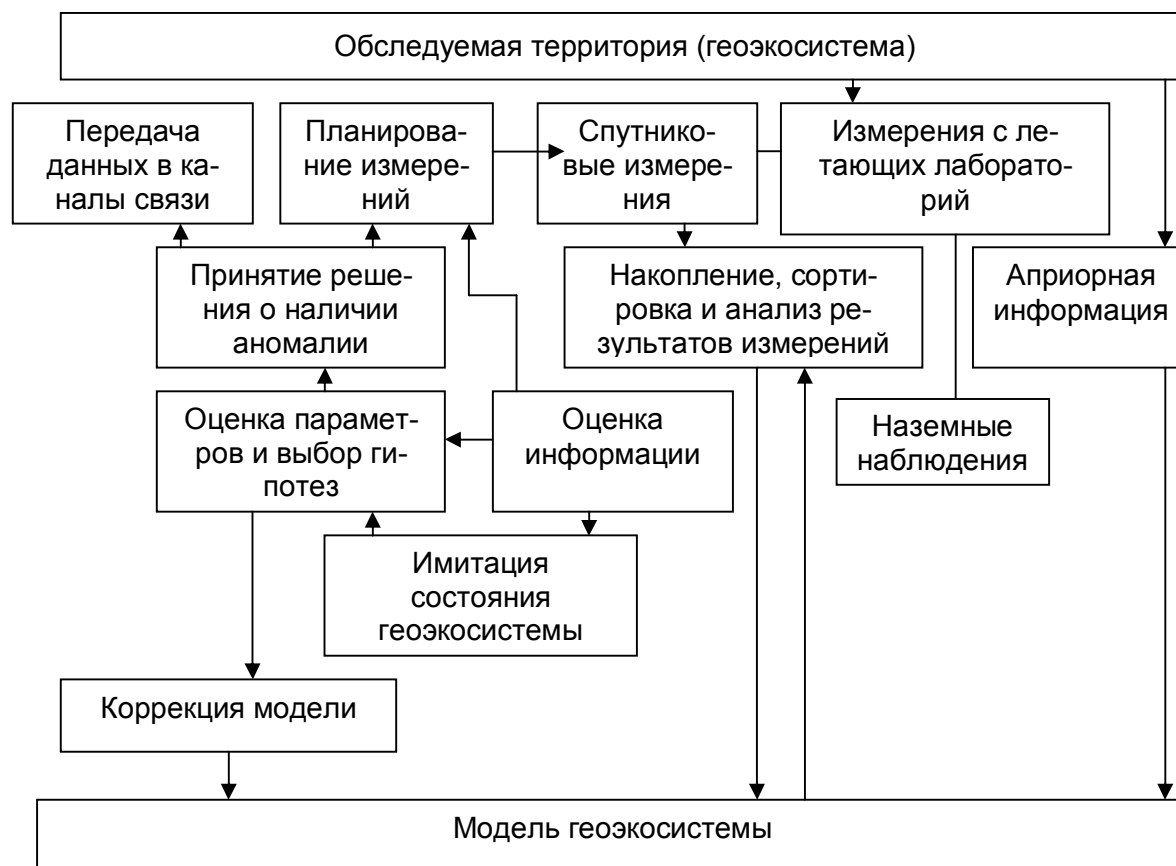


Рисунок 1 – Модель геозкосистемы

Технические средства и технология природного мониторинга. С 1974 г. в ИРЭ РАН совместно с другими организациями эксплуатируется самолет лаборатория ИЛ-18, допускающая ежегодную загрузку до 650 летных часов.

ИЛ-18 показал возможность эффективного решения задач природного мониторинга:

- 1 Состояние и характеристики почвогрунта и растительного покрова.
- 2 Контроль акваторий и водоводных систем.
- 3 Инвентаризация и типизация лесов и болот, санитарное состояние гарей, лесосек и других элементов антропогенного ландшафта.
- 4 Экспертиза неординарных явлений, стихийных и техногенных катастроф.
- 5 Динамика границ снежников и ледников, сплоченности морских льдов.
- 6 Комплексные спутниковые исследования, методическая, техническая и экспериментальная подготовка операторов для самолетных лабораторий, поисково-спасательной и экологической служб.

Многообразие экологических проблем по своему существу сводится к обнаружению, оконтуриванию и измерению геофизических, гидрометеорологических характеристик квазиводородных (в определенном смысле) участков подстилающей поверхности.

Компьютерная система для моделирования источников загрязнения воздушного бассейна в промышленных центрах (КСМВБ). КСМВБ позволяет решать следующие задачи:

- Расчет сферы влияния каждого источника;
- Определение области чувствительности датчиков;
- Определение паспортного загрязнения и тестирование процедуры идентификации и поиска источников;

- Идентификация источников загрязнения;
- Поиск известного источника.

Мониторинг атмосферы. Глобальный уровень (планетарный); макроуровень (континентальный); мезоуровень (региональный); микроуровень (локальный).

Для оснащения самолетной или наземной передвижной системы мониторинга атмосферы могут быть использованы:

- Дистанционный анализатор содержания метана в атмосфере.
- Инфракрасный многокомпонентный спектрометрический газоанализатор применен в атмосфере.

В рамках разработанной в ИРЭ РАН и ИПЭ РАЕН ГИМС технологии создана экспериментальная система контроля и идентификации источников загрязнения воздушного бассейна (ЭСКИЗ). Система ЭСКИЗ предназначена для моделирования многокомпонентных нестационарных полей загрязнения воздушного бассейна городов и промышленных районов.

Система позволяет решать следующие задачи:

- Расчет сферы влияния каждого источника;
- Определение области чувствительности датчиков;
- Определение паспортного загрязнения и тестирование процедуры идентификации и поиска источников;
- Идентификация источников загрязнения;
- Поиск неизвестного источника.

Дистанционное зондирование древесно-кустарной растительности. Перспективными направлениями с СВЧ-радиометрии леса является контроль гидрологического режима почвы под пологом леса и изучение динамики лесовосстановительного процесса в районах вырубок и лесных пожаров.

Основной задачей спутниковых радиолокаторов при наблюдении за лесом является глобальное картирование растительности Земли в масштабе 1:2500000 с целью создания эффективной системы контроля вырубки и восстановления леса.

Специалисты – лесоводы говорят, что часть больших пожаров в крупных массивах происходит из-за грозových разрядов.

Как происходит процесс возгорания леса? Нельзя ли представить подобные ситуации? В 80-х годах двадцатого столетия в Институте теплофизики СО АН СССР началась интенсивная разработка математических моделей в области горения лесных пожаров [1].

Математические модели пожаров включают в себя следующие основные элементы: уравнения турбулентного движения воздуха в зоне пожара, процессы горения древесины, хвои и листьев, теплопередачу путем конвекции и лучеиспускания, перенос потоками воздуха продуктов горения (дыма), а также мелких частиц несгоревшего вещества и золы. При пыльных бурях в воздух поднимается большое количество песка и других твердых частичек: пыльные бури возникают при неустойчивой погоде, при прохождении атмосферных фронтов. Борьба с пыльными бурями и их математическое моделирование и прогнозирование очень важны для человека.

В грозовой обстановке атмосферы иногда возникают и другие катастрофические явления природы – смерчи, или торнадо.

Смерч – это мощный атмосферный вихрь с приблизительно вертикальной, часто изогнутой осью. Диаметры поперечного сечения этого вихря колеблются от нескольких десятков до сотен метров. Смерчи часто возникают в зоне атмосферных фронтов, разделяющих воздушные массы с большими перепадами температур и большим влагосодержанием.

Смерчи порождаются сильной неустойчивостью атмосферы в присутствии мощных кучево-дождевых облаков и сопровождаются ливнями, градом и грозowymi разрядами. Максимальные скорости движения воздуха в вихре смерча достигают 300 м/с.

Простейшая физическая модель развитого смерча – это цилиндрический воздушно-водяной вихрь. Поэтому математическая модель этого разрушительного явления природы носит явно многофазный характер. В центральной части вихря давление ниже атмосферного, и поэтому смерчи обладают всасывающим действием – силой. Существует несколько сценариев зарождения и развития смерча. Из других быстропротекающих процессов в атмо-

сфере, моделирование которых сейчас развивается, следует отметить ураганы, шквалы как сильные ветры.

Ураганы – это сильные ветры, дующие во время циклонов – гигантских вихревых движений воздуха. Шквал – это резкое кратковременное усиление ветра, сопровождающееся изменением его направления. Скорость ветра при шквале часто превышает 20 м/с. Шквалы связаны с интенсивным развитием кучево-дождевых облаков. Они часто сопровождаются грозами, ливнями и градом.

В прибрежных водах океанов встречаются катастрофические волновые явления – цунами. Внезапно огромная волна, как описал М.Горький: «Поднялась к небу волна высоты неизмеримой, закрыла грудью половину неба и, качая белым хребтом, согнулась, переломилась, упала на берег». Это явление уносит много человеческих жизней и сметает все на своем пути. Многолетние исследования гидродинамиков и океанологов показали, что цунами образуются при набегании на береговую полосу длинных океанских волн, возникающих за сотни километров в результате подводных землетрясений, извержений вулканов и других причин. Попадая в бухты, где имеются устья рек, волны цунами поднимаются вверх по течению, вызывая мощные гидравлические прыжки, то есть бурлящие валы воды (это явление называется бора). За характерную волну цунами принято считать 30 м, хотя были зарегистрированы и более высокие волны. При теоретическом описании явления выделяют четыре характерные стадии:

- описание источника возмущения и движения воды вблизи него;
- распространение волн цунами в глубоководной части океана;
- набегание волн на мелководную, прибрежную часть океана;
- отражение волн цунами от неровности дна и искусственных сооружений.

Следует отметить, что численное решение задачи от момента зарождения возмущения (землетрясения, взрыв) до подхода к берегу не получено полностью и представляет трудности в определении характера рельефа дна на пути возникающего возбуждения до побережья, внутренних течений и т.д. Тем не менее, моделирование набегания волн цунами вполне возможно численным методом, и результаты этого набегания волн (цуг волн) должны соответствовать физической картине явления.

Весной не редким явлением природы является резкое увеличение уровня вод в реках и озерах. Прогнозирование этих явлений – важнейшая научная проблема. Как и в газодинамике атмосферных явлений и процессов, в паводковых водах могут возникать ударные волны, которые носят название гидравлических прыжков. Основные положения теории паводковых вод и расчеты, касающиеся многих конкретных ситуаций выполнены под руководством О.В. Васильева.

Система принятия решений. Применение любых технических средств наблюдения за окружающей средой позволяет получать ряды данных изменений, имеющих различные характеристики достоверности и полноты представления изучаемого объекта. Конечная цель сбора данных и их обработки с помощью средств экоинформатики состоит в принятии решения о наличии аномалии в окружающей среде или о ее возможном появлении. Пример работы системы показан на рисунке 2.

Девяносто процентов всех стихийных бедствий на планете связано с погодой. За последние 25 лет в них погибли больше 2 млн. человек. Экономический ущерб составил 1 трлн. долларов.

Ученые признали, что остановить изменения климата невозможно. Надо приспособляться. В старые добрые времена о погоде вели светские беседы: «Какой чудесный день сегодня, вы не находите?» Сейчас о ней говорят совсем другим тоном и на самом высоком уровне. Недавнюю конференцию Всемирной метеорологической организации в Мадриде открывала лично королева Испании София. Когда три года назад климатологи всех стран собирались в Москве, с ними встречался Владимир Путин. Об изменениях климата задумался даже Совбез ООН: погодные напасти могут стать причиной войн из-за энергетического сырья и массовых миграций.

Главная проблема: погода становится непредсказуемой. Скажем, кто мог представить, что на Крещение в Москве случится оттепель, а на пасху пойдет снег? По данным генераль-

ного секретаря ВМО Мишеля Жарро, за четверть века число погодных напастей выросло втрое, а ущерб от них увеличился в 4 раза. А президент ВМО и глава Росгидромета Александр Бедрицкий сообщил, что в России «опасный гидрометеорологических явлений» (засух и наводнений, и лютого мороза и страшного зноя, шквалов и ураганов...) с каждым годом происходит на 6 процентов больше.

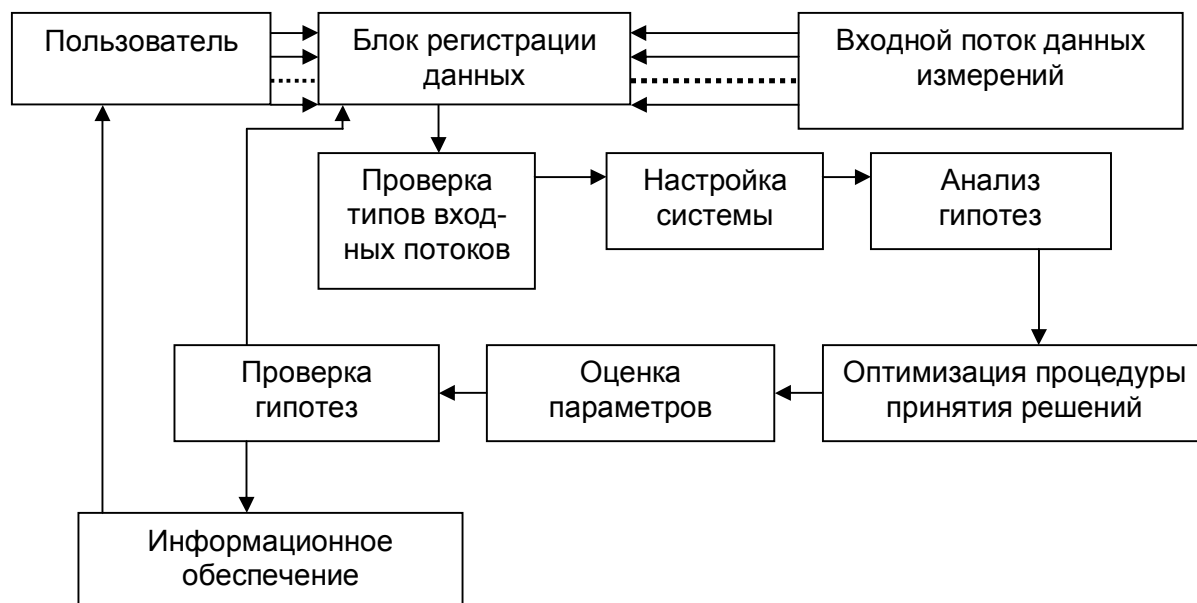


Рисунок 2 – Блок-схема подсистемы ИСАРД принятия статистических решений в режиме мониторинга

Что будет дальше? Единого мнения нет. Но есть официальное. Это доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата (ее вице-председатель – российский академик Юрий Израэль). Потепление не вызывает сомнений, говорится в докладе. Вот цифры:

– За 100 лет – с 1906 по 2005 год – планета разогрелась на 0,74 градуса. Причем в последние полвека температура росла вдвое быстрее, чем в начале столетия.

– Океан стал теплее даже на глубине 300 м. Из-за этого повышался уровень моря. С 1993 года на 3,1 миллиметра в год. Свои капли добавили тающие льды Гренландии и Антарктиды.

– Последние 50 лет – самое теплое время как минимум за 1300 лет.

Ощутить сотые доли градуса сложно, а что было тысячу лет назад, кто помнит? Но вот меняющуюся погоду заметили все, в том числе и эксперты.

Системы автоматизированной обработки информации. Системой называется объединение самоорганизующихся, взаимосвязанных и совместно действующих как единое целое элементов для достижения общей цели.

Понятие СИСТЕМА тесно связано с картиной Мира. Системы различаются по своей физической, структурной, функциональной, информационной и интеллектуальной сложности. В сложных системах может быть несколько целей. Они могут противоречить друг другу, могут быть не вполне ясными и определенными. Изучая ИС, человечество столкнулось с феноменом информации как свойства живого проводить на основе имеющихся знаний контекстную обработку сообщений. Для становления человеческой личности (приобретения возможности интеллектуальной языковой деятельности в условиях неопределенности) требуется достаточно длительный период обучения.

В настоящее время не имеют научного объяснения ряд феноменов (установленных фактов и явлений), связанных с информацией, которые российский ученый В. Герасименко условно классифицировал следующим образом:

– полисемантика (многозначность, скрытность) материальных источников культуры;

**ПОИСК И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ
И ТЕХНОГЕННЫХ СИТУАЦИЙ**

– информационный эмоционализм (связь рационального и прекрасного, глубинные ассоциации);

– сверхполнота информационного поля человечества (приметы будущего, следы прошлых цивилизаций);

– ясновидение, предчувствия, предсказания (на больших расстояниях, в прошлом и будущем);

– кабалистика (знаки, имеющие важное значение).

Информационная система (ИС) – взаимосвязанная совокупность средств, методов и персонала, используемых для хранения, обработки и выдачи информации.

При отсутствии персонала мы имеем дело с автоматической ИС, а при его необходимости с автоматизированной ИС.

Отметим основные отличия ИС от ИТ:

– ИС включает в себя реализуемые с ней ИТ;

– ИС включает в себя средства реализации информационных процессов, а ИТ реализует их на базе;

– ИС характеризуются наличием конкретных пользователей (информационных субъектов), в то время как ИТ (за исключением уникальных) предназначены для использования неопределенно широким кругом пользователей;

– ИС имеют функциональное назначение, определяемое комплексом работ, выполняемых информационным субъектом при осуществлении своей деятельности, то есть является проблемно-ориентированными или обеспечивающими.

Система обработки информации (СОИ) в отличие от систем обработки данных оперирует не только с данными, но и с метаданными о предметной области, что позволяет проводить интерпретацию явлений в этой предметной области.

Развитие и применение идей ГИМС технологии, предусматривающей соединение методик и алгоритмов математического моделирования с наземными и дистанционными измерениями характеристик окружающей природной среды, как показывает опыт, возможно на базе синтеза летающих и передвижных лабораторий. В будущем именно такие комплексы будут решать следующие основные задачи:

1 Прогнозирование времени начала и степени опасности стихийных бедствий, аварийных ситуаций и техногенных катастроф.

2 Контроль динамики аварий и катастроф, в том числе и в сложных метеоусловиях, и выдача информации для принятия решения.

3 Оценка последствий аварий и катастроф для городов, сельскохозяйственных и лесоболотных угодий, морской и приморской флоры и фауны.

4 Выдача целеуказаний спасательным службам при проведении поисково-спасательных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Теплофизика лесных пожаров [Текст]: сб. тр. / Под ред. В.Е. Накорякова // - Новосибирск: Изд-е ин-та теплофизики СО АН СССР, 1984. -126 с.

УДК 555.32

КИБЕРНЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИЗУЧЕНИЮ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Т.Е. Прошунина, А.С. Шукшина, И.Н. Яичникова

Рассмотрены кибернетические подходы к изучению биологической организации. Показано, что живые организмы способны сохранять свою устойчивость благодаря обратным отрицательным связям. С синергетических позиций вполне закономерно представляется эволюция живого, которая привела к становлению человека, как биологического вида.

Биоинформатика – новое направление исследований, использующее математические и алгоритмические методы для решения молекулярно-биологических задач. В отечественной генетике зарождение этого направления тесно связано со становлением и развитием Института цитологии и генетики СО АН СССР в Новосибирском Академгородке.

Живой организм как кибернетическая система. Многоклеточные организмы проделали большой путь эволюции от простейших до человека. Они весьма разнообразны по своим размерам и уровню организации. Уровень организации и сложности даже простейших живых организмов намного превосходит уровень естественных систем неорганического мира, а также искусственных систем, создаваемых человеком. Уровень организации многоклеточных организмов неодинаков у разных видов. При этом прослеживается закономерность: чем сложнее организм, тем выше его уровень организации и упорядоченности. Для поддержания высокой степени своей упорядоченности организмы должны получать из окружающей среды отрицательную энтропию (негэнтропию) в виде энергии и информации. Поэтому рост упорядоченности органического мира происходит за счет уменьшения упорядоченности среды. Например, хищник истребляет травоядных животных. На прирост 1кг биомассы хищника требуется приблизительно 10кг массы травоядных животных. В свою очередь, рост массы травоядных животных сопровождается сокращением количества растительной пищи. Таким образом, в итоге хищник повышает свою организацию за счет дезорганизации окружающей среды.

Дифференцированные клетки, объединенные в органы и функциональные системы, обеспечивают необходимые функции многоклеточного организма.

Сложнейшие процессы обмена веществ в клетках организма, его развития из эмбриона, адаптация к внешней среде, способность к обучению – требуют непрерывного участия тонких механизмов управления, регулирующих и направляющих течение этих процессов. Какова же структура управления в живых организмах?

В кибернетике различают два основных типа управления системами – централизованное и децентрализованное. Очевидно, что для таких сложных систем, какими являются живые организмы, возможность централизованного управления отпадает. Действительно, невозможно представить орган, способный перерабатывать огромное количество информации о состоянии миллиардов клеток и передать ее по каналам связи нужным подсистемам организма. С другой стороны, нельзя допускать и полной децентрализации, когда каждая клетка и каждый орган управляются автономно. Исследования структуры и поведения организмов свидетельствуют, что в них осуществляется иерархическая структура управления. Ученые-биологи на основании особенностей свойств живого выделяют несколько уровней организации живой материи.

– *Молекулярный.* Любая живая система, как бы сложно она ни была организована,

проявляется на уровне взаимодействия биологических макромолекул: нуклеиновых кислот, белков, полисахаридов, а также других важных органических веществ. С этого уровня начинаются важнейшие процессы жизнедеятельности организма: обмен веществ и превращение энергии, передача наследственности информации и др.

– *Клеточный*. Клетка – структурная и функциональная единица, а также единица размножения и развития всех живых организмов, обитающих на Земле. Неклеточных форм жизни нет, а существование вирусов лишь подтверждает это правило, так как они могут проявлять свойства живых систем только в клетках.

– *Тканевый*. Ткань представляет собой совокупность сходных по строению клеток и межклеточного вещества, объединенных выполнением общей функции.

– *Органный*. У большинства животных орган – это структурно-функциональное объединение нескольких типов тканей. Например, кожа человека как орган включает эпителий и соединительную ткань, которые вместе выполняют целый ряд функций.

– *Организменный*. Организм представляет собой целостную одноклеточную или многоклеточную живую систему, способную к самостоятельному существованию.

– *Популяционно-видовой*. Совокупность организмов одного и того же вида, объединенная общим местом обитания, создает популяцию как систему надорганизменного порядка. В этой системе осуществляются простейшие, элементарные эволюционные преобразования.

– *Биогеоценотический*. Биогеоценоз – совокупность организмов разных видов и различной сложности организации со всеми факторами конкретной среды их обитания – компонентами атмосферы, гидросферы и литосферы. Он включает: неорганические и органические вещества, автотрофные и гетеротрофные организмы. Основные функции биогеоценоза – аккумуляция и перераспределение энергии.

– *Биосферный*. Биосфера – самый высокий уровень организации жизни на нашей планете. В ней выделяют живое вещество – совокупность всех живых организмов, неживое, или косное, вещество и биокосное вещество.

Таким образом, оптимизация столь сложной системы, какой является живой организм, реализуется через «баланс интересов» всех ее подсистем.

С точки зрения механизмов управления в организмах можно выделить четыре регулирующих системы: система крови и лимфы, эндокринная, нейровегетативная и анимальная. Все они возникли в ходе эволюции многоклеточных организмов. Система крови и лимфы возникла тогда, когда образовалась замкнутая внутренняя среда, меняя состав которой клетки получили возможность взаимодействия. Эндокринная система появилась, когда часть клеток оказалась внутри организма, потеряла связь с внешней средой и стала регулировать деятельность внешних клеток с помощью выделения активных химических продуктов. Нейровегетативная система возникла в процессе специализации клеток как инструмент передачи управляющих сигналов. Анимальная система образовалась как инструмент управления движением организма в соответствии с воздействием внешней среды.

Управление в организме характеризуется высокой надежностью, которая обеспечивается следующими факторами. Все процессы осуществляются большим числом параллельно работающих клеток. Существует дублирование регулирующих механизмов за счет участия в них нескольких систем (например, поддержание уровня кровяного давления осуществляется регулированием просвета сосудов и изменением сердечного выброса). Исследование механизмов управления в живых организмах – одна из важнейших задач биологической кибернетики. Она входит в состав появившейся в середине XX века науки об общих законах управления – кибернетики.

Проблема сущности жизни. Виталисты (XVII-XIX вв) утверждали, что живое нельзя произвести искусственным путем. Когда Велер произвел искусственный синтез мочевины, то тем самым он нанес огромный удар по позициям витализма. Сейчас в искусственных условиях выращиваются человеческие эмбрионы и даже рассматриваются принципы клонирования человеческого организма. Чем ближе ученые подходили к границе между живым и неживым, тем все дальше эта граница отходила от них. Оказалось, что и кристаллы могут расти, что есть время существования любого вещества. Оказалось также, что растения ведут себя как животные. Известно, что французский философ Ламетри написал несколько

книг, например, «Человек-растение», «Человек-машина». Казалось бы, нет той зацепки, пользуясь которой можно сказать, что живое нельзя отличить от неживого. Говоря о критериях живого, биология отмечает такие очевидные его свойства, как обмен веществ, способность к воспроизведению, способность к саморегуляции в изменяющихся условиях среды, способность к развитию, способность к эволюции. Однако, как утверждают биологи, у живых организмов нет ни одного признака, присущего только живому, и единственный способ определить, что такое жизнь, – это перечислить все ее свойства. Но такое сложное явление, как жизнь, вряд ли может быть охарактеризовано «до конца» каким-то конечным набором свойств.

Многочисленно предпринимались попытки найти объяснение функции жизни в специфических особенностях живой клетки. Однако исследования показали, что ничего специфического в ней нет: в клетке содержатся те же химические элементы, что и в неживых объектах. Однако соотношение различных элементов в живом и неживом неодинаково. Элементный состав неживой природы наряду с кислородом представлен в основном кремнием, магнием, алюминием и т.д. В живых организмах 98% химического состава приходится на четыре элемента – углерод, кислород, азот и водород. Однако в живых телах эти элементы участвуют в образовании сложных органических молекул, распространение которых в неживой природе принципиально иное как по количеству, так и по существу. Подавляющее большинство органических молекул окружающей среды представляют собой продукты жизнедеятельности организмов. В живом веществе несколько основных групп органических молекул, характеризующихся определенными специфическими функциями и в большинстве своем представляющих собой регулярные полимеры. Во-первых, это нуклеиновые кислоты – ДНК и РНК, свойства которых обеспечивают явления наследственности и изменчивости, а также самовоспроизведение. Во-вторых, это белки – основные структурные компоненты и биологические катализаторы. В-третьих, углеводы и жиры – структурные компоненты биологических мембран и клеточных стенок, главные источники энергии, необходимой для обеспечения процессов жизнедеятельности. И, наконец, огромная группа так называемых «малых молекул», принимающих участие в многочисленных и разнообразных процессах метаболизма в живых организмах. Многие биологи считают, что:

- Свойства живого в полной мере проявляются в отдельном организме;
- Элементарной единицей жизни является клетка;
- Специфика живого связана с особой упорядоченностью биологических структур.

Однако отдельно взятую клетку нельзя рассматривать как автономную систему: всякая клетка является тем, что она есть, лишь благодаря ее взаимосвязям со всеми остальными клетками тела. То же можно сказать и об отдельно взятом организме. Как подчеркивал В.И. Вернадский, «организм, удаленный из биосферы, есть не реальное, есть отвлеченное логическое построение: Жизнь и все живые организмы являются неразрывной закономерной частью биосферы».

Одно время успехи молекулярной биологии внушали надежды на то, что основа биологической организованности заключена в особенностях физической структуры молекул ДНК – тогда законы возникновения и эволюции жизни могли быть сведены к физическим процессам. Но эти надежды оказались иллюзиями.

Кибернетические подходы к изучению биологической организации. В настоящее время общие принципы организации биосистем базируются на кибернетических подходах. Еще в 1927 г. Основатель общей теории систем австрийский биолог Людвиг фон Берталанфи постулировал иерархический порядок организации живой природы, состоящий в том, что каждая система – комплекс взаимодействующих элементов – является компонентом системы более высокого уровня: молекулы в клетке, клетки в тканях, ткани в органах, органы в организмах, организмы в сообществах.

В рамках кибернетического подхода на первый план выступают не вещественно-энергетические, а информационные взаимодействия. Так, воспринимать, хранить и передавать информацию могут и неживые объекты. Однако у них происходит лишь энергоинформационный обмен. Живые системы обладают также способностью накапливать, перерабатывать и использовать полученную информацию. В последнее время было установлено, что

при регуляции процессов в биосфере существенную роль в информационных взаимодействиях ее подсистем играют электромагнитные поля.

С кибернетической точки зрения жизнь представляет собой взаимодействие биосистем разного уровня сложности, находящихся в иерархическом отношении соподчинения. Иерархичность означает, что система каждого уровня включается в систему более высокого уровня в качестве ее подсистемы. При этом имеет место несводимость свойств системы более высокого уровня к свойствам систем низших уровней (эффект эмерджентности). Именно поэтому даже доскональное знание еще недостаточно для понимания функционирования организма (например, свойств молекул не дает возможности понять все закономерности функционирования клетки, а значит устройства и функционирования отдельных органов). Отметим другие важнейшие свойства живых систем, носящие, по существу, кибернетический характер.

Живым существам присущ особый способ взаимодействия с окружающей средой – обмен веществ. В неживой природе также существует обмен веществами, однако при небиологическом круговороте веществ они просто переносятся с одного места на другое или меняется их агрегатное состояние: например смыв почвы, превращение воды в пар или лед. Живые организмы поглощают из окружающей среды различные вещества. Вследствие целого ряда сложных химических превращений вещества из окружающей среды уподобляются веществам живого организма и из них строится его тело. Эти процессы называются ассимиляцией, или пластическим обменом.

Другая сторона обмена веществ – процессы диссимиляции, в результате которых сложные органические соединения распадаются на простые, при этом утрачивается их сходство с веществами организма и выделяется энергия, необходимая для реакции биосинтеза. Поэтому диссимиляцию называют энергетическим обменом.

Обмен вещества обеспечивает гомеостаз организма, то есть неизменность химического состава и строения всех частей организма и, как следствие, постоянство их функционирования в непрерывно меняющихся условиях окружающей среды. Таким образом, живой организм можно рассматривать как кибернетическое устройство, перерабатывающее поступающую на вход информацию и вырабатывающее ответные реакции.

В качестве примера гомеостаза рассмотрим реакцию организма теплокровного животного на изменение температуры организма. При относительно низких температурах среды терморегуляция в организме осуществляется за счет усиления притока крови к поверхностным тканям. При достаточно высоких температурах среды в процесс терморегуляции включается механизм потоотделения и дыхания, обеспечивающие выделение избытка тепла.

– Живой организм отличается высокой степенью упорядоченности и, следовательно, низкой энтропией. Согласно второму закону термодинамики, в энергетически изолированной системе количество энтропии увеличивается, достигая максимума в состоянии равновесия. В живых системах этого не происходит ввиду постоянного притока энергии и информации, используемой на поддержание внутренней структуры.

– Жизнь представляет собой постоянный процесс самообновления, в результате которого воссоздаются структуры, аналогичные снашиваемым и утрачиваемым. Это достигается благодаря использованию живыми организмами генетической информации, которая хранится в наследственном веществе клеток.

– Важнейшим свойством живых организмов является их способность к взаимодействию. По-видимому, эта способность возникла на базе элементарных форм отбора.

– Способность к развитию – всеобщее свойство материи. Под развитием понимают необратимое направленное закономерное изменение объектов живой и неживой природы. В результате развития возникает новое качественное состояние объекта, вследствие которого изменяется его состав или структура.

Следует отметить, что живые организмы в отличие от объектов неживой природы ограничены от окружающей среды оболочками (наружная клеточная мембрана у одноклеточных, покровная ткань у многоклеточных). Эти оболочки затрудняют обмен веществ между организмом и внешней средой, сводят к минимуму потери вещества и поддерживают пространственное единство системы.

Таким образом, живые организмы резко отличаются от объектов физики и химии – неживых систем – своей исключительной сложностью и высокой структурной и функциональной упорядоченностью. Эти отличия придают жизни качественно новые свойства. Живое представляет собой особую ступень развития материи.

Существуют такие особенности, распространяющиеся на область жизни в целом, которые связаны с ее существованием в пространстве и во времени. Одна из таких особенностей – включенность организмов в процесс эволюции. Благодаря этому, жизнь как особое явление материального мира сохраняется на протяжении более 3 млрд. лет.

Роль синхронизации в эволюции сложных систем. Для развития сложной системы важную роль играет такое явление как ритмичность, то есть упорядоченность процессов во времени. Наличие согласованной ритмичности у нескольких внешне различных систем (то есть явление синхронизации) указывает на то, что в действительности они функционируют в рамках одной, более общей системы. Например, синхронизация изменений активности Солнца со многими процессами на Земле свидетельствует о реальности Солнечной системы, которая проявляется не только в рамках небесной механики, но и во многих других отношениях. Ритм сотворения и разрушения присутствует не только в чередованиях дня и ночи, смене времен года, рождении и гибели живых организмов; он выступает в качестве основной сущности материи. Каждая материальная частица принимает участие в своеобразном танце энергии – пульсирующем процессе обмена веществом и энергией с другими частицами. Так же и вся Вселенная в целом постоянно находится в ритмическом процессе сотворения и разрушения.

Важно отметить, что для объяснения синхронизации и согласования различных процессов в сложных системах (каковыми являются, в частности, природные системы) механизма причинно-следственных связей недостаточно. Синхронизация – это гораздо более сложное явление, чем простая цепочка причин и следствий (или стимулов и реакций): в этом процессе участвует вся система в целом, поэтому и сама синхронизация не сводится к сумме адаптационных, приспособительных реакций. Сложная эволюционирующая система представляет собой не жесткую структуру, разложимую на составные элементы, а гибкую систему взаимосвязей. Эта сеть образована путем тесной кооперации и координации обширного множества специализированных элементов системы, поэтому импульс в одном месте порождает множество ответных импульсов различных частях системы. В результате происходит быстрая и весьма тонкая «самонастройка» системы на меняющиеся условия внешней или внутренней среды, что и является основой синхронизации.

Особенность процесса синхронизации природных систем состоит в том, что, настраиваясь (попадая в резонанс) с процессами, протекающими вовне, эволюционирующая система становится как бы частью более общей системы, законам и ритмам которой она подчиняется. Происходит «встраивание» одной сети в более широкую сеть связей. В случае природных систем на земле в качестве более широкой синхронизирующей системы выступает весь космос. Таким образом, все живое на земле находится под воздействием космических ритмов. Их можно подразделить на три типа:

1 ритмы, действующие в антропной шкале времени (суточный, месячный, сезонные, годичные);

2 ритмы, действующие в геологической шкале времени (исчисляются десятками и сотнями тысяч лет);

3 ритмы, действующие в шкале мегамира (исчисляются миллионами лет).

Во всех природных биологических и экологических процессах синхронизация играет ключевую роль: любой живой организм – от клетки и до всей биосферы существует за счет синхронизации, согласования происходящих в нем биохимических процессов, как между собой, так и с процессами неживой природы. Взаимная синхронизация происходит в ансамблях макромолекул, объединенных в органеллах клетки и на ее поверхности. Организмы подчиняются ритмам суточной и сезонной активности. Центральные регуляторные системы организма являются внешними синхронизаторами происходящих в нем физиологических процессов. Автономная синхронизация имеет место и в сообществах организмов – стадах, популяциях.

Циклы и ритмы живой природы. Исследования последних лет показывают, вещественно-энергетические процессы в биосистемах любого уровня сложности протекают ритмично. На ритмичности основаны взаимодействия между биологическими системами и окружающей средой: биоритмы согласованы с геофизическими и космическими ритмами. Можно выделить следующие особенности ритмической организации биосистем:

– Биосистемы любого уровня – от молекулярного до биосферного, функционируют в колебательном режиме. Колебание элементов системы с различными парциальными частотами сводятся к некоторой синхронной частоте. Тем самым биосистема подчиняется ритмам системы более высокого уровня.

– Как показывает теория синхронизации, если различие между частотами объектов достаточно мало, то наступает их самосинхронизация. В то же время внешняя синхронизация может происходить при слабых синхронизирующих сигналах.

– Колебания в биосистемах связаны с электромагнитными полями, а синхронизация – с электромагнитными сигналами. Колебания в макромолекулах и клетках происходят в виде колебательного распределения поверхностных зарядов и дипольных моментов, а в организме – это, в основном, колебания электрического потенциала. Взаимосвязь между организмами посредством электромагнитных полей подтверждены на опытах, а так же непосредственными наблюдениями электромагнитной сигнализации между организмами разных видов. При этом внешними синхронизаторами биоритмов являются электромагнитные поля земного и космического происхождения

Характерной особенностью ритмических процессов в живой природе является их циклический характер, то есть повторяемость. Любой биологический процесс в целом представляет собой некоторый цикл, который, в свою очередь, включается в цикл более высокого уровня, тот – в следующий и т.д. При этом самыми важными являются циклы, определяемые влиянием космоса – сезонные и суточные. Вся деятельность живых существ приспособливает к ним свои ритмы и свое поведение. Главнейший цикл любого организма – цикл, включающий рождение, созревание, воспроизведение, старение и смерть. У микроорганизмов (например, бактерий), а так же у клеток цикл воспроизведения непрерывен, а у более крупных организмов он носит сезонный характер. Циклы сотворения и разрушения имеются не только в жизни живых существ, они присущи всем процессам, происходящим во Вселенной. Таким образом, цикличность – общий закон живой и неживой природы.

ЭКОЛОГИЯ

УДК 555.32

ВОЗДЕЙСТВИЕ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА, АКУСТИЧЕСКАЯ КАВИТАЦИЯ И НЕКОТОРЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Е.И. Кузнецова, Е.Н. Толстикова, И.Н. Яичникова

Рассматривается взаимодействие организма и волновых колебаний акустики, инфразвука, шума и ультразвука. Вопрос о допустимой длительности воздействия таких колебаний на живой организм решают медики и специалисты – экологи, например, рассматривается структурно-функциональное ранжирование физико-химических и биологических эффектов, связанных с воздействием низкоинтенсивных колебаний, (особенно разрушительно действует ударная волна в замкнутых пространствах).

На протяжении всего существования человечества, человек старался улучшить свою жизнь, создавая комфорт, увеличивая свое личное время. XX век стал пиком такого развития. В жизнь человека вошли машины высокого уровня, в том числе и компьютер.

Позитив такого явления на лицо, но все-таки какое же влияние оказывает компьютер на жизнь человека. Проблемами подобного рода занимается наука – биологическая информатика.

Компьютер является низкоинтенсивным источником излучения, что оказывает огромное влияние на организм человека.

Акустические колебания включают в себя шум, ультразвук, инфразвук. Акустические колебания воспринимаются: слуховыми рецепторами, механорецепторами кожи, опорно-двигательного аппарата, и внутренних органов.

Действие инфразвука на организм человека. Инфразвук – это упругие волны частотой меньше 16 Гц. Акустические колебания низких частот вызывают неприятные ощущения и тошноту, увеличение ошибок операторской деятельности, пространственной дезорганизации.

Все это свидетельствует о возможности непосредственного влияния низкочастотных акустических колебаний на различные органы и ткани.

Действие низкочастотных акустических колебаний частотой 5-100 Гц вызывает ощущения страха, тревоги, слабости, беспричинного дискомфорта. В инфразвуковом диапазоне акустических колебаний существуют частоты избирательно воздействующие на внутренние органы; 11-35 Гц эта частота акустических колебаний провоцирует самопроизвольные мочеиспускания, боли во внутренних органах, тошноту, головокружение, потеря сознания, нарушение и даже прекращение сердцебиения; 13 Гц – расстройство желудка; 6-7 Гц – отрицательно влияет на работу головного мозга; 4 Гц – неблагоприятно сказывается на работе сердца.

Для низкоакустических колебаний первичным органом-мишенью является легкое. Так при уровне звукового давления превышающего 130 Дб и частотой 2-16 Гц может произойти разрыв тканей альвеол в бронхах.

Такие отклонения в легких полностью согласуются с функциональными нарушениями внешнего дыхания и параллельно с поражением центральной нервной системы.

Таким образом, биологический эффект низкочастотных акустических колебаний проявляется ответной реакцией целостного организма, в которой участвует преимущественно нервная и кардиореспираторская система, подключаются нарушение функций пищеварительной системы, крови, эндокринные расстройства.

Рассмотрим действия инфразвука на отдельные организмы:

- МОЛЕКУЛА (данные о прямом воздействии инфразвука на молекулу нет, но это не исключает его возможное пагубное действие на молекулу);
- КЛЕТКА (механическое раздражение, разрушение клеток и нейронов головного мозга);
- ТКАНЬ (разрывы и ушибы; разрывы межальвеолярных перегородок);
- ОРГАН (специфическое поражение легких, кровоизлияние во внутренних органах);
- ОРГАНИЗМ (шокообразное состояние, симптомный комплекс поражения головного мозга в сочетании с легочной патологией и поражением внутренних органов).

Патологические изменения, вызванные воздействием низкочастотных акустических колебаний в 1-20 Гц на организм вызывает:

- нарушение дыхания;
- нарушение функций сердечно-сосудистой системы;
- нарушение обмена веществ.
- нарушение нейрогуморальной регуляции жизненно важных функций организма;
- нарушение функций эндокринных органов.

Все это развивается по мере усиления акустического давления на организм.

По нормам ЛСГМИ (Ленинградский санитарно-гигиенический медицинский институт) уровни инфразвука на рабочих местах не должны превышать 105 дБ в каждой октавной полосе от 2 до 31,5 Гц.

Действие шума на организм человека. Шум – это акустические колебания спектраль-

ная составляющая которых равномерно распределены по всему диапазону слышимых частот.

Диапазон акустических колебаний шума в зоне слышимости составляет от 16 Гц до 20000 Гц, в интервале от 0 до 140 дБ.

Акустические шумы и вибрации представляют собой мощный источник опасности для человека, например в концертных залах уровень шума достигает 120-130 дБ, воздействие таких частот может привести к головной боли, утомленности и т.п. Этот уровень на 90 дБ превышает норму шума в зданиях и жилых помещениях (40-45 дБ). Для сравнения, разговор человека составляет 60 дБ, звонок будильника 85 дБ.

Различают несколько стадий поражения шумом. Исходом шумовой болезни может быть тяжелое течение гипертонической болезни, а также обострения язвенной болезни.

Действие ультразвука на организм человека. Ультразвук – это механические колебания упругой среды. Ультразвуковые волны распространяются в любой среде. Скорость распространения в них различна и зависит от свойств среды. При распространении ультразвуковых колебаний в воздушной среде их характеризуют в единицах звукового давления – дБ и высокой частотой превышающий верхний порог слышимости в 20000 Гц. Ультразвуковые волны в жидкостях обычно возбуждают магнитострикционными и пьезоэлектрическими преобразователями (генераторами). Пьезоэлектрические генераторы УЗ преобразуют электрическую энергию в энергию ультразвуковых колебаний, используя обратный пьезоэлектрический эффект – деформацию некоторых монокристаллов в переменном электрическом поле. При этом в окружающей среде возникают соответствующие механические колебания. Пьезоэлектрические генераторы могут быть мощными источниками УЗ с частотами до 1000 МГц. Используя пьезокерамику, поверхность излучателя часто делают сферической, что позволяет фокусировать излучение на малой площади, получая там очень большую интенсивность УЗ. Такая фокусировка используется, например, при разбивании камней в почках и мочевом пузыре с помощью ультразвука без затрагивания окружающих тканей.

Магнитострикционные генераторы УЗ сначала преобразуют энергию электрического тока в энергию магнитного поля, а потом – энергию магнитного поля в механическую (звуковую или ультразвуковую) энергию. Их действие основано на том, что некоторые металлы (например, никель) и их сплавы деформируются в магнитное поле. Если стержень из такого металла расположить вдоль линий переменного магнитного поля, то этот стержень станет попеременно сокращаться и удлиняться, возбуждая в окружающей среде ультразвуковые волны той же частоты. Магнитострикционные преобразователи из тонкого листового металла работают лучше всего в низкочастотном диапазоне (от 20 до 50 кГц), а на более высоких частотах их коэффициент полезного действия становится очень малым.

Использование пьезоэлектрических генераторов кажется более предпочтительным, так как их можно применять в более широком диапазоне частот. Кроме того, при одной и той же выходной акустической мощности УЗ пьезоэлектрические генераторы потребляют меньше электрической энергии. Что касается акустической мощности, необходимой для стирки, то установлено, что 50-100 Вт вполне достаточно для стирки в 4 л воды. Если рассчитывать необходимую акустическую мощность на единицу поверхности излучателя, то она составит 45-60 Вт/дм².

Кавитация. Существенную роль в образовании эмульсий играет кавитация – образование в жидкости полостей, заполненных газом, паром или их смесью (так называемых кавитационных пузырьков, или каверн). Кавитация возникает результате локального уменьшения давления ниже критического значения (приблизительно равного давлению насыщенного пара). Если понижение давления происходит вследствие локального повышения скорости в потоке жидкости (вспомним уравнение Бернулли), то кавитацию называют гидродинамической, в случае же прохождения в жидкости акустических волн – акустической.

В обычной жидкости всегда присутствуют мельчайшие пузырьки газа или пара, и, оказавшись в области, где давление меньше критического, они начинают расти. После перехода в зону повышенного давления рост пузырька прекращается, и он начинает сокращаться. Если пузырек содержит достаточное количество газа, то по достижении им минимального радиуса он восстанавливается и совершает несколько циклов затухающих колебаний, а ес-

ли газа мало, то пузырек захлопывается полностью, и вблизи обтекаемого тела (например, но поверхности лопасти гребного винта) создается «кавитационная зона», заполненная движущимися пузырьками.

Акустическая кавитация. Если звуковое давление во время полупериодов разрежения уменьшается ниже давления насыщенного пара, то в жидкости возникают кавитационные пузырьки, зародышами которых чаще всего являются мельчайшие газовые пузырьки, содержащиеся в жидкости. Сокращение кавитационного пузырьки происходит с большой скоростью, и если это быстрое движение внезапно прекратится вследствие полного смыкания полости, то сконцентрированная в ничтожном объеме кинетическая энергия освободится и перейдет частично в меловую энергию и частично в энергию сжатия. При этом из центра сомкнувшейся полости распространится кратковременный (порядка 10^{-6} с) импульс давления (до 10^9 Па и более), способный разрушить даже весьма прочные материалы.

Для того чтобы проверить, есть кавитация или нет, в жидкость можно опустить тонкую алюминиевую фольгу. Если УЗ вызывает кавитацию, то, вытащив кусочек фольги из жидкости, мы увидим в нем маленькие дырочки – следы кавитационных ударных волн. Чем меньше газа содержит пузырек, тем сильнее будет кавитационная ударная волна. С другой стороны, высокие концентрации растворенных газов замедляют смыкание кавитационных пузырьков, подавляя одновременно и эмульгирование. Поэтому процессу стирки обычно предшествует дегазирование жидкости с помощью ультразвука. Это происходит из-за того, что уже имеющиеся в жидкости пузырьки газа под действием ультразвука соединяются в более крупные и всплывают. Кроме того, и сама кавитация приводит к дегазации жидкости. Интенсивные колебания газонаполненных пузырьков вблизи поверхности твердых тел создают микропотоки жидкости, делающие ультразвуковую стирку и чистку более эффективной.

Как гидростатическое давление влияет на кавитацию. В вакууме жидкость лишена микропузырьков, и поэтому УЗ не вызывает в ней ни кавитации, ни эмульгирования. Понижение внешнего давления ниже атмосферного, меньше 20 кПа, мешает смыканию возникающих кавитационных пузырьков, уменьшая мощность кавитационных ударных волн. Очень высокие давления, больше 10 МПа, уничтожают микропузырьки, являющиеся зародышами кавитации, препятствуя ее возникновению. Однако увеличение гидростатического давления до 200 кПа помогает схлопываться до конца большинству кавитационных пузырьков, поэтому подводники замечают, что кавитация, измеряемая по интенсивности шума гребных винтов, резко увеличивается по погружению на 10-20 м, а потом идет на убыль.

Ультразвуковая очистка. С помощью УЗ можно не только стирать, но и очищать поверхности металла или стекла от мельчайших посторонних частиц, жировых пленок и других видов загрязнения. Для этого предмет, подлежащий очистке, помещают в жидкость с источником УЗ, и схлопывающиеся кавитационные пузырьки срывают с обрабатываемой поверхности нежелательные частицы. В промышленности используется ультразвуковое оборудование для очистки поверхности кварцевых кристаллов для механизма часов, оптического стекла и ювелирных украшений. УЗ также помогает сделать абсолютно гладкими детали шарикоподшипников и снять заусенцы с малогабаритных деталей.

Чем выше частота УЗ, тем большее звуковое давление требуется для появления кавитации. Это происходит из-за того, что образование каждого кавитационного пузырька требует определенного времени. Например, в обычной воде кавитация возникает при звуковом давлении 100 кПа, если частота звука 15 кГц. Инерция колебаний кавитационных пузырьков делает зависимым их диаметр от частоты: при 15 кГц – 200 мкм, а при 175 кГц – 20 мкм.

Очевидно, что чем больше кавитационный пузырек, тем больше энергия ударной волны, образующейся при его схлопывании. Поэтому частоты ниже 80 кГц используются, как правило, для технических целей, где требуется удалить большие загрязнения, а иногда и целые слои грязи или ржавчины. Однако крупным пузырькам тяжело пролезть в щели, чтобы вытащить оттуда грязь, а значит, нужны и мелкие пузырьки, которые будут работать там, где большие не могут. Поэтому для хорошей чистки и стирки необходим генератор УЗ с плавающей частотой.

Самым эффективным способом дезинфекции служит кипячение. Однако, когда инструмент (например, эндоскопический зонд), подлежащий дезинфекции, сделан из пластмассы,

кипячение может навсегда испортить его. Выходом из положения в таких случаях является ультразвуковая дезинфекция. Импульсы давления, возникающие в кавитационных пузырьках, приводят к гибели бактерий и микроорганизмов, находящихся в водной среде, подвергаемой действию УЗ. Кроме того, установлено, что УЗ расщепляет высокомолекулярные биополимеры на фрагменты с относительной молекулярной массой около 30000 при экспозиции 5-10 минут.

Различают 4 степени поражения ультразвуком:

1 головная боль, заложенность в ушах;

2 отклонения со стороны вестибулярного, слухового, зрительного аппаратов;

3 сильно выраженные эндокринные и обменные нарушения, снижение трудоспособности;

4 психические нарушения, больные нетрудоспособны.

В заключение необходимо заметить, что на современных ультразвуковых установках общие уровни ультразвука колеблются от 90 до 110 дБ и редко превышают 120 дБ. Допустимые уровни звукового давления на рабочих местах должны соответствовать значениям ГОСТ.

ЭКОЛОГИЯ

УДК 555.32

СИНЕРГЕТИКА КАК НАУКА О САМООРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМ. УСЛОВИЯ И МЕХАНИЗМ САМООРГАНИЗАЦИИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

К.В. Бородин, М.Н. Солдышев, И.Н. Яичникова

Вопрос фундаментального естествознания о возникновении из простых систем сложных считается в науке одним из самых сложных и основополагающих: Лишь в двадцатом столетии наука стала осваивать сложные системы теоретически. Синергетика (от греч. Synergia – сотрудничество) возникла и развивается как теория самоорганизации сложных систем. Рассмотрены механизмы самоорганизации и ключевые положения синергетики, в том числе эмерджентные новые качества, когда синергетика выступает в ранге математической дисциплины. В этой связи математическое моделирование сложных систем и осуществляемые вычислительные эксперименты показывают, что иногда удаётся исследовать природу явлений исходя из решений систем дифференциальных уравнений с несколькими переменными. Поэтому становится мало удивительным то, что «сборка» физико-химических элементов привела к возникновению живого, так как в рамках сложных систем возникновение жизни не случайно, а закономерно – в смысле синергетической самоорганизации.

Термодинамика не запрещает эволюционных явлений при условии, что система, в которой они проводят, открыта окружающему миру. Но термодинамика ничего не говорит о том, насколько неизбежна самоорганизация в открытых системах и каким закономерностям должен подчиняться процесс самоорганизации.

Под самоорганизацией понимается самопроизвольное возникновение сложных упорядоченных структур в силу объективных законов природы и общества.

Необходимость и законы самоорганизации изучает синергетика.

Синергетика – это междисциплинарное направление научных исследований, предмет которого – общие закономерности самоорганизации в природных и социальных системах.

Термин «синергетика» предложил в начале 1970-х гг. немецкий физик Г. Хакен. Он происходит от греческого слова synergetikos – совместно, согласованно действующий. Хакен

считал, что главной особенностью процесса самоорганизации в любой системе является возникновение согласованного, кооперативного поведения большого числа ее элементарных подсистем.

Синергетика рассматривает системы самой разнообразной природы – физические, химические, биологические, социальные, – процессы самоорганизации в которых, как выяснилось, описываются одними и теми же математическими моделями и, следовательно, подчиняются универсальным закономерностям.

Примеры самоорганизации в простейших системах Ячейки Бенара. В 1900 г. появилась статья французского физика Бенара, изучавшего теплоперенос в жидкости. Бенар наливал спермацетовое масло в сосуд, подогреваемый снизу. Характер переноса тепла между верхним и нижним слоями жидкости зависит от интенсивности нагрева, который определяет разность температур между ними, ΔT .

При слабом нагреве сама жидкость неподвижна, переносится лишь тепловая энергия за счет теплопроводности. По мере повышения интенсивности нагрева (увеличения ΔT) все большую роль начинает играть конвекция: нагретая жидкость расширяется, становится более легкой и стремится всплыть вверх. На смену опускаются более холодные и плотные слои. Однако это происходит спорадически: восходящие потоки возникают то в одном месте, то в другом и существуют недолго. Конвекция идет в хаотическом режиме.

Когда разность температур ΔT достигает некоторого критического значения, картина меняется принципиальным образом. Весь объем жидкости разделяется на одинаковые ячейки, в каждой из которых происходит уже незатухающее конвекционное движение частиц жидкости по замкнутым траекториям. В условиях опыта Бенара конвекционные ячейки имели форму почти правильных шестиугольников, так что приводимые в его статье фотографии показывают эффектную структуру, очень похожую на пчелиные соты. В центре каждой ячейки нагретая жидкость поднималась снизу вверх, а вдоль границ ячеек – опускалась сверху вниз.

Для того чтобы объяснить открытие Бенара само по себе, не нужна особая новая наука. В 1916 г. английский физик лорд Рэлей показал, что необходимость образования ячеек Бенара, когда разность температур ΔT достигает критического значения ΔT_c (зависящего от свойств жидкости и толщины ее слоя), следует из уравнений гидродинамики, известных с начала XIX в.

Процессы самоорганизации в подогреваемой снизу жидкости не заканчиваются образованием конвективных ячеек. При достижении критической разности температур $\Delta T > \Delta T_c$ ячейки Бенара, начинают колебаться с определенной частотой. При этом периодически меняется и температура жидкости в них.

Однако и периодические колебания системы ячеек Бенара – еще не конец истории. С дальнейшим ростом ΔT частота колебаний ячеек растет. При достижении нового порога, ΔT_2 , возникают колебания на новой частоте. Поведение системы остается предсказуемым, однако, более сложным, чем для одночастотного колебания. Продолжение роста ΔT приводит к появлению новых частот, пока, наконец, при некоторой $\Delta T = \Delta T_L$ их не становится бесконечно много. Но сумма бесконечного числа колебаний с разными частотами дает полностью хаотичное, турбулентное, движение! Описанный сценарий универсален и свойствен столь различным жидкостям, как ртуть и жидкий гелий. Конвективные ячейки обнаружены в фотосфере Солнца (солнечная грануляция) и в мантии Земли.

Реакция Белоусова-Жаботинского. В 1951 г. Б.П. Белоусов, изучая простую реакцию между броматом калия и лимонной кислотой в присутствии катализатора, обнаружил, что она идет не монотонно, как обычные реакции. Окраска реакционной смеси изменялась от исходной бесцветной до конечной желтой – и обратно! Белоусов наблюдал несколько десятков периодов колебаний. В открытии не сразу поверили, поскольку это была первая реакция, которая в однородной смеси сама по себе идет в колебательном режиме.

Аналогично явлению Бенара реакция Белоусова фундаментальным химическим открытием, то есть таким, которая заставляет создавать новую теорию. А.М. Жаботинский показал, что колебательный режим реакции допускается обычными уравнениями химической кинетики, если хотя бы одна из промежуточных стадий реакций является автокаталитической,

то есть если какой-то из её продуктов её же ускоряет.

Значение открытия Белоусова-Жаботинского заключается в том, что оно продемонстрировало самоорганизацию в простейшей химической системе. Периодичность – один из видов упорядоченности. Спонтанные химические колебания – это упорядоченная структура, неоднородность, только развернутая не в пространстве, а во времени.

В 1970 г. Жаботинский и Заикин обнаружили, что в системе Белоусова-Жаботинского возможна не только временная, но и пространственная самоорганизация. Они – и отказались от традиционного перемешивания растворов и просто налили его тонким слоем в чашку Петри. Оказалось, что реакция не идёт синхронно по всей чашке. Изменение окраски сначала происходит в какой-то одной точке – так называемом ведущем центре, от которого затем распространяется во все стороны. Форма линии раздела между областями, окрашенными по-разному, представляет собой фрагмент спирали. Формируется спиральная волна, вращающаяся вокруг ведущего центра со скоростью порядка одного оборота.

Тем временем в объёме раствора могут возникнуть ещё несколько ведущих центров, вокруг каждого из которых формируется своя спиральная волна. Периоды разных ведущих центров несколько отличаются друг от друга. Благодаря этому наблюдается ещё одно замечательное явление – синхронизации. Дело в том, что при столкновении двух спиральных волн они не проходят друг сквозь друга, как обычные волны на поверхности жидкости, а взаимно уничтожаются, при чём уничтожение в большей степени затрагивает более медленную из них. В результате фронт более быстрый спиральной волны постепенно продвигается в сторону ведущего центра, порождающего медленную волну, уничтожает его и устанавливает единую частоту колебаний во всём объёме.

Спиральные волны – распространенная форма самоорганизации в системах различной природы. Они наблюдаются, например, при образовании колоний коллективных микроорганизмов. Сложный характер сокращений сердечной мышцы обусловлен тем, что по ней безостановочно бежит спиральная волна возбуждения.

Необходимые условия самоорганизации. Одно из главных достижений синергетики – выяснение условий, выполнение которых необходимо для начала самоорганизации в системе любой природы. Подчеркнем, что эти условия – необходимые, то есть если хотя бы одно из них не выполнено, никаких упорядоченных структур в системе не возникнет наверняка. К сожалению, до сих пор неизвестны достаточные условия, выполнение которых гарантировало бы начало самоорганизации.

Система должна быть неравновесной. Основным признаком неравновесности является протекание сквозь систему потоков энергии и вещества, вызываемых температурными, химическими и иными градиентами (градиент – это мера неоднородности распределения той или иной величины, ее перепад). Так, кухня, в которой на плите стоит только что вскипевший чайник, – неравновесная система, поскольку между чайником и окружающим воздухом имеется градиент температуры. Благодаря ему возникает направленный поток тепловой энергии, и чайник остывает. Однако когда температура чайника сравняется с температурой окружающего воздуха, равновесие все еще не будет достигнуто. Дело в том, что концентрация воды в чайнике больше концентрации водяного пара в воздухе (химический градиент), что приводит к направленному потоку молекул воды из чайника. Через несколько дней вся вода из чайника испарится и можно будет считать состояние равновесия достигнутым.

Для всех рассмотренных в систем это условие выполняется. Ячейки Бенара возникают в условиях протекания сквозь жидкость теплового потока. В системе Белоусова-Жаботинского имеются химические потоки вещества. Между живыми организмами и окружающей средой постоянно текут потоки веществ и энергии.

Заметим, что неравновесная система может быть и замкнутой, не сообщающейся с внешним миром. Например, не исключено, что наша Вселенная – изолированная система. Но масштабы ее таковы, что время, необходимое для ее перехода в равновесное состояние (каким бы оно ни было), астрономически велико. Другими примерами систем, которые и в изолированном от внешнего мира состоянии способны чрезвычайно долго удерживаться вдали от равновесия, являются стекла любой природы. Однако чаще всего длительное подержание системы в неравновесном (тем более сильно неравновесном, см. ниже) состоянии

требует, чтобы она была незамкнутой, открытой, проточной.

Система должна быть сильно неравновесной. Физическая теория неравновесных систем, неравновесная термодинамика, начала развиваться в середине XIX в., однако в течение почти ста лет считалось, что все процессы в таких системах приводят лишь к разрушению структур, сглаживанию неоднородностей. Лишь в середине XX в. стало понятно, что это справедливо только для слабо неравновесных систем, а при сильном отклонении от равновесия неоднородности могут и возникать.

Все живые организмы являются сильно неравновесными системами. Ячейки Бенара возникают только при достаточно большом перепаде температур ΔT . Реакция Белоусова-Жаботинского входит в колебательный режим лишь при достаточно высоких концентрациях реагентов.

Система должна быть нелинейной. Термодинамику слабо неравновесных систем называют еще линейной. Тогда теория сильно неравновесных структур должна быть нелинейной.

Формальное определение нелинейной системы: нелинейной называется система, поведение которой описывается нелинейными математическими уравнениями.

Разница между линейными и нелинейными уравнениями.

Линейное	Нелинейное
$x + y = 1$	$x^2 + y^2 = 1$
$dx/dt + x = 0$	$dx/dt + \sin x = 0$

В линейное уравнение неизвестные входят только в первой степени. Как только в уравнении появляется квадрат, куб или какая-то функция от неизвестной либо произведение неизвестных, оно сразу становится нелинейным.

Линейные уравнения гораздо проще решать, и потому классическое естествознание интересовалось главным образом линейными системами. Казалось, что фундаментальное обязательно должно быть простым. Но это оказалось не так: современное естествознание – нелинейное.

Все рассмотренные системы, в которых происходит самоорганизация, нелинейны. Нелинейные уравнения гидродинамики, которыми описывается конвекционная неустойчивость жидкости. Система уравнений химической кинетики для реакции Белоусова-Жаботинского и других колебательных реакций обязательно включает в себя нелинейные уравнения, описывающие автокаталитические стадии.

Полезно обсудить различие между линейными и нелинейными системами под несколько иным углом зрения.

Линейная система отличается тем, что ее реакция на несколько одновременных воздействий равна сумме реакций на каждое воздействие по отдельности.

В качестве иллюстрации рассмотрим кобылу, о которой Козьма Прутков сказал: «Щелкни кобылу в нос, она махнет хвостом». В данном случае воздействием является щелчок, реакцией – взмах хвоста. Предположим, что в ответ на слабый щелчок хвост кобылы отклоняется от вертикали на 5° . Что произойдет, если щелкнуть вдвое сильнее? Щелчок удвоенной силы можно рассматривать как два одновременных обычных щелчка, так что «линейная» кобыла должна в ответ на двойной щелчок отмахнуть хвостом на 10° , на тройной – на 15° и т.д. Ясно, однако, что реальная кобыла, начиная с некоторой критической силы щелчка, перестанет махать хвостом и начнет кусаться или лягаться. Таким образом, реальная кобыла – система нелинейная.

Нелинейные системы способны качественно изменять свое поведение при количественном изменении воздействия. Другими словами, нелинейные системы – это системы сложные.

Заметим, что речь идет не столько о сложности законов, управляющих поведением системы, сколько о сложности возникающего под их действием поведения.

Основные закономерности самоорганизации. Все явления самоорганизации, рассматриваемые синергетикой, подчиняются универсальным закономерностям, перечисляемым

ниже. В качестве примера, иллюстрирующего эти закономерности, мы будем рассматривать возникновение ячеек Бенара.

Поведение системы, в которой происходит самоорганизация, удобно рассматривать с помощью бифуркационной диаграммы. По оси абсцисс диаграммы откладывается значение управляющего параметра, который характеризует воздействие, выводящее систему из равновесного состояния, а по оси ординат – параметр порядка, описывающий состояние системы и чувствительный к возникновению в ней структуры.

Для системы Бенара в качестве управляющего параметра можно использовать температуру нижнего слоя жидкости, которая растет с увеличением интенсивности нагрева, а в качестве параметра порядка температуру верхнего слоя жидкости. Диаграмма начинается в точке А, соответствующей отсутствию нагрева. При этом температуры нижнего и верхнего слоев одинаковы и равны комнатной температуре ΔT_k . По мере нагрева температура верхнего слоя растет медленнее, чем нижнего, поскольку верхний слой контактирует с холодным воздухом. Поэтому участок АВ бифуркационной диаграммы представляет кривую, наклон которой плавно уменьшается.

Пороговый характер самоорганизации. Упорядоченная структура возникает по пороговому механизму, внезапно. Можно было бы вообразить сценарий, по которому зачатки концентрации ячеек, пусть не очень четко выраженные, возникают уже при слабом нагреве, а с увеличением его интенсивности постепенно «дозревают». Природа, однако, устроена так, что до определенной, пороговой, силы нагрева никаких ячеек нет в принципе, а по достижении порога ячейки Бенара возникают почти мгновенно.

Бифуркационный сценарий самоорганизации. Бифуркация – математический термин, означающий «раздвоение». Имеется в виду разветвление решения уравнений, описывающих состояний системы. Физически это ветвление соответствует разделению однородной системы на области разных типов.

Так участок АВ диаграммы фактически представляет собой график решения Рэлея задачи Бенара. По заданной температуре нижнего слоя он позволяет определить температуру верхнего слоя жидкости. Пока температура ниже критического значения T_C , это решение единственно. Однако при $T=T_C$ возникают две новые ветви решений. Верхняя описывает температуру в центре возникших ячеек, где охладившаяся жидкость опускается. Точка В, где, возникает характерная «вилка», и называется точкой бифуркации.

«Старое» решение, описывающее однородное состояние системы, в точке бифуркации не исчезает, математически оно продолжает существовать (кривая ВF). Но в точке бифуркации оно теряет устойчивость и потому становится ненаблюдаемым. Систему можно привести в это состояние лишь насильственно, например, пун-м перемешивания жидкости, которое разрушит конвективные ячейки. Однако как только перемешивание прекратится, система тут же вновь разделится на области двух типов – с устойчивыми восходящими и нисходящими потоками жидкости.

При дальнейшем изменении управляющего параметра возможны новые бифуркации, означающие появление в системе новых типов упорядоченности. Для системы Бенара эти бифуркации связаны с возникновением все более сложных колебаний системы конвекционных ячеек.

Точки бифуркации – спутники любой эволюционирующей системы. Загляните в любой учебник биологии: филогенетическое дерево, изображающее историю развития жизни на Земле, имеет вид типичной бифуркационной диаграммы. Историки также давно заметили, что в развитии общества чередуются сравнительно спокойные триоды постепенных изменений со временами социальных потрясений и революций, когда за исторически ничтожный срок теряют устойчивость и распадаются традиционные социальные институты и возникают совершенно новые формы общественной организации.

Усиление флуктуации – предвестник возникновения структуры. Кривая АВ на бифуркационной диаграмме описывает лишь среднее значение температуры верхнего слоя. Из-за неупорядоченности характера конвекции до возникновения ячеек Бенара температура в любой заданной точке верхнего слоя беспорядочно колеблется: то поднимется выше средней, когда именно в данной работе области возникает восходящий поток, то опустится ниже

средней благодаря случайному нисходящему потоку. Другими словами, в системе имеют место флуктуации. Поэтому имеет смысл указывать не только среднюю температуру верхнего слоя (кривая АВ), но и размах ее флуктуационных колебаний (вертикальные отрезки, пересекающие кривую АВ).

При температуре ниже критической флуктуации более или менее эффективно подавляются. Случайно возникший восходящий поток затухает, растрчивая свою энергию на преодоление вязкого сопротивления жидкости и нагрев окружающих, более холодных областей. Однако чем выше температура, тем менее эффективно работает механизм подавления, тем больших значений достигают отклонения от среднего и тем дольше они существуют. В точке бифуркации размах флуктуации достигает максимума, а время их жизни становится бесконечным. Поэтому самоорганизовавшуюся упорядоченную структуру можно рассматривать как результат запоминания системой тех случайных флуктуаций, которые имели место в момент перехода через критическую точку.

Таким образом, беспорядочные флуктуации, хаос являются тем материалом, из которого строится порядок. Девизом синергетики стало название книги одного из ее создателей, И.Р. Пригожина: «Порядок из хаоса».

Возникновение дальнедействующей кооперативности. При возникновении в системе самоорганизованной структуры движение её элементов становится согласованным на расстояниях, многократно превышающих размеры самих элементов.

Как указывалось выше, синергетика обязана этому обстоятельству самим своим названием. В случае с ячейками Бенара переход через критическую точку делает согласованным движение молекул жидкости в пределах макроскопической ячейки.

Невозможность долгосрочных прогнозов. Точный прогноз будущего состояния системы на период, охватывающий хотя бы одну точку бифуркации, оказывается принципиально невозможным.

В точке бифуркации самоорганизующаяся система запоминает случайный выбор. На него могут повлиять самые незначительные и не поддающиеся учёту факторы. Можно оценить лишь вероятность, с которой система двинется по той или иной ветви бифуркационной диаграммы. С каждой новой точкой бифуркации неопределенность усиливается, и потому отдаленное будущее оказывается непредсказуемым.

Сказанное не означает, что о будущем нельзя сказать вообще ничего. Знание бифуркационной диаграммы развивающейся системы позволяет из всего бесконечного множества ее состояний указать те немногие, в которые она может попасть из современного состояния. Недаром профессиональные аналитики и футурологи занимаются расчетом возможных вариантов развития событий, без утверждений, какой из этих вариантов реализуется.

Самоорганизация порождает историю. Система, прошедшая несколько точек бифуркации, приобретает историю: по ее современному состоянию можно установить, в каких состояниях она находилась ранее.

Например, если мы обнаружили систему в состоянии, изображаемой на бифуркационной диаграмме точкой Е, то отсюда однозначно следует, что в прошлом она побывала в состояниях D и С, но никогда не была в состоянии С.

Можно сказать, что история возникает в точках бифуркаций. На интуитивном уровне специалисты по общественным процессам поняли это уже давно. В учебниках истории периоды спокойного развития характеризуются обзорно и достаточно бегло; но как только ход событий приближается к политическому кризису, революции, эпохе реформ, повествование замедляет свой темп, погружаясь в детали. То же справедливо для палеонтологии, где наибольший интерес вызывают находки переходных форм, которые могут рассматриваться как точки ветвления эволюционного древа, а также для геологии, космологии и вообще любой дисциплины, рассматривающей предмет своего изучения в развитии.

Расстояние между последовательными точками бифуркаций может изменяться по мере эволюции системы. Это дает основание различать «внешнее время», отсчитываемое постоянными по своей длительности циклами (например, периодами обращения Земли вокруг Солнца) и «внутреннее время», системы, определяемое количеством пройденных точек бифуркации. В природе известны примеры как замедления «внутреннего времени» (эволюция

Вселенной от Большого взрыва до наших дней, закон сукцессионного замедления) по сравнению с «внешним», так и ускорения (биологическая эволюция, общественное развитие).

Самоорганизация приводит к балансированию на грани хаоса. Система прошедшая в своём развитии несколько точек бифуркации, как правило, оказывается вблизи границы, отделяющей упорядоченное поведение от хаотичного.

Как обсуждалось в при слишком сильном нагреве конвекция в жидкости вновь становится хаотической, турбулентной. Другой наглядный пример привел физик П. Бак: если сверху сыпать на тарелку песок, то в конце концов склоны образующейся на ней горки приобретают критическую крутизну, когда достаточно уронить еще одну песчинку, чтобы вызвать катастрофическую лавину. В 1980 г. он разработал теорию самоорганизованной критичности, основанную на положении о том, что любая эволюционно зрелая система неизбежно балансирует на грани потери устойчивости. Для выживания такой системе требуется тонкое и точное управление.

Неоднородность распределения энтропии. При возникновении упорядоченной структуры энтропия занимаемой ею области пространства понижается, а энтропия прилегающих областей возрастает. При этом суммарное изменение энтропии неизменно оказывается положительным.

К.К. Ребане предлагает альтернативную формулировку: самоорганизация связана с ростом актуальной упорядоченности за счёт неактуальной. Эта закономерность является прямым следствием второго закона термодинамики и основных свойств энтропии.

Ускорение производства энтропии при самоорганизации. При возникновении новой упорядоченной структуры скорость производства энтропии в занимаемой ею области пространства скачкообразно возрастает.

Например, при возникновении систем ячеек Бенара тепловой поток Q сквозь слой жидкости резко возрастает (за счет упорядочения конвективного движения) при практически неизменной температуре нижнего $T_{\text{нижн}}$ и верхнего, $T_{\text{верх}}$, слоев жидкости. При этом одновременно возрастает поток входящей в объем жидкости энтропии $\Delta S_{\text{вх}}=Q/T_{\text{нижн}}$, выходящей $\Delta S_{\text{вых}}=Q/T_{\text{верх}}$ и их разность, которая и представляет скорость производства энтропии в жидкости.

Связь самоорганизованных структур с ускорением производства энтропии, то есть рассеяния, диссипации энергии, настолько неразрывна, что легла в основу термина, которым их обозначают в синергетике: диссипативные структуры.

Конкуренция диссипативных структур. В качестве примера можно привести явление синхронизации спиральных волн в системе Белоусова-Жаботинского: всех подчиняет своему ритму и выживает та волна, которая вращается вокруг своего ведущего центра быстрее остальных. Медикам известно смертельно опасное явление фибрилляции, когда сердце вместо ритмичных правильных сокращений начинает беспорядочно трепыхаться. Фибрилляция связана с тем, что помимо естественной медленной спиральной волны возбуждения о сердечной мышце возникает паразитная быстрая, которая подчиняет естественную своему ритму.

Самоорганизация в не живой природе. Процессы самоорганизации постоянно происходят не только в живой, но и в не живой природе. Приведем несколько примеров физико-химических опытов, в которых наблюдается спонтанная самоорганизация.

Структурирование однородно вязкой жидкости при возникновении свободной конвекции (ячейки Бенара). Рассмотрим некоторый объем однородно вязкой жидкости, заключенной между двумя горизонтальными пластинами. Если подогревать нижнюю пластину, то в этой системе создастся постоянный температурный градиент.

Ввиду действия силы тяжести и выталкивающей архимедовой силы система становится не устойчивой (более легкий нижний слой стремится, помнется местами с более тяжелым верхним – возникает конвекционное движение жидкости). В результате жидкость начинает структурироваться в виде небольших ячеек, называемых ячейками Бенара.

Впервые такой эксперимент был проведен в 1900 г. Физиком Х. Бенаром. Он наливал в плоский сосуд ртуть и подогревал сосуд снизу. После того, как разность температур нижнего и верхнего слоев достигла некоторого критического значения, верхний слой быстро структу-

рировался в виде шестигранных призм определенным соотношением между длинной стороны и высотой.

Образование подобных структур происходит не по причине внешнего воздействия, а за счет постройки внутренних связей между элементами системы, приведенной в не равновесное состояние, и по этому представляет собой пример самоорганизации.

Реакция Белоусова-Жаботинского. В 1951 г. химик Б. Белоусов Установил, что можно зрительно наблюдать за ходом некоторых окислительно-восстановительных химических реакций по изменению цвета промежуточных продуктов реакции. Как только исходные вещества сливали в пробирку, раствор начинал периодически менять цветовую окраску.

В 60-х гг. биофизик А. Жаботинский обнаружил множество сходных химических реакций и объяснил их механизм. Периодичность возникновения промежуточных продуктов химических реакций указывает на сходство этих процессов с автоколебаниями, наблюдаемыми в физике, механике, биологии. Автоволны автоматически поддерживают свои физические параметры за счет энергии среды, в которой они распространяются.

Превращение ламинарного течения жидкости в турбулентное. Это явление можно наблюдать, например, при стоке воды из ванной. При небольшом количестве воды она стекает ламинарно (то есть движется параллельными слоями в направлении течения). При большом количестве воды происходит сильное давление верхних слоев на нижние, что резко увеличивает скорость стока. Сток теряет устойчивость и входит в вихреобразный режим. Течение из ламинарного спонтанно превращается в турбулентное.

Переход лазера в режим генерации. При накачке энергии лазер работает как обычная лампа, причем микроскопические ячейки подобно антеннам излучают свет независимо друг от друга. При определенном значении энергии антенны начинают работать самостоятельно в одной фазе, что приводит к мощному излучению. Таким образом, здесь происходит скачкообразный переход к новому качественному состоянию.

В приведенных примерах наблюдается общая закономерность: в физических или химических системах из хаотических (неупорядоченных) состояний возникают высокоупорядоченные макроскопические структуры – как пространственные, так и временные, то есть происходит самоорганизация.

Условия и механизмы самоорганизации. Самоорганизация не связана с какими-либо специфическими объектами. Однако явление самоорганизации может происходить лишь для определенных систем и при выполнении ряда обязательных условий. Выяснением этих условий занимается синергетика.

Термин «синергетика» (От греч. *synergeia* — совместное, или кооперативное действие). Такое название в начале 1970-х гг. предложил Г. Хакен, один из основоположников этой науки. В настоящее время под синергетикой понимается междисциплинарное научное направление, объединяющей идеей которого является самоорганизация – образование упорядоченных структур в неупорядоченных стохастических системах. В нестрогих терминах синергетика может быть определена как наука о превращении хаоса в порядок.

Перечислим условия, при которых происходит самоорганизация.

Самоорганизация протекает в открытых нелинейных диссипативных системах.

Открытость системы состоит в том, что она обменивается со средой веществом, энергией и информацией. Этот обмен происходит через имеющиеся в системе источники или стоки.

Нелинейность – отсутствие пропорциональной связи между величиной воздействия и величиной эффекта. Например, слабое воздействие может привести к новому качественному состоянию системы и, наоборот, сильное воздействие может гаситься. Самоорганизующиеся системы сохраняют свою устойчивость при воздействии среды с помощью механизма отрицательных обратных связей.

Диссипация – рассеивание отработанного вещества или энергии в окружающую среду. Структуры, обладающие этим свойством, называются диссипативными структурами.

Явления самоорганизации происходят в состояниях, далеких от равновесных.

Состояние называется равновесным, если в нем нет переноса массы, энергии, температуры, заряда и т.п. Под влиянием внешних воздействий система может переходить из од-

ного равновесного состояния в другое, при этом самоорганизации не возникает. Именно неравновесность является источником возникновения упорядоченности. Неравновесность позволяет системе преобразовывать энергию внешней среды в упорядоченную диссипативную структуру, которая характеризуется стационарным неравновесием. Как происходит этот процесс? В моменты неустойчивости системы малые флуктуации (т. е. случайные отклонения некоторых величин, характеризующих систему, состоящую из большого числа элементов, от средних значений) усиливаются по типу положительной обратной связи и превращаются в макроскопические. Эти макроэффекты возникают за счет согласованных взаимодействий отдельных элементов системы (явление когерентности), которые проявляются в масштабе всей системы. Устойчивые коллективные формы поведения частей системы называются модами. Между модами возникает конкуренция, в результате которой происходит отбор наиболее предпочтительных. Так хаос превращается в порядок.

Один из основных терминов синергетики – «параметр порядка». С помощью параметров описываются спонтанно возникающие макроскопические структуры (влияние окружения описывается «контрольными параметрами»). Согласно принципу подчинения, параметры порядка детерминируют поведение отдельных частей или элементов системы.

Когда самоорганизующаяся система находится вдали от равновесия, она может «приспособиться» к своему окружению разными способами. Состояния, в которых система «выбирает свою дальнейшую судьбу», называются точками бифуркации (точки ветвления). В точке бифуркации невозможно предсказать поведение системы: имеется лишь спектр дальнейших возможностей, но нет указания, по какому пути система должна следовать дальше. Выбор дальнейшей траектории определяется случаем. В результате случайных блужданий система попадает «в область притяжения» одной из возможных траекторий, скачком переходит на нее («подключается» к новому аттрактору) и движется по этой траектории до следующей точки бифуркации. При движении между двумя точками бифуркации система развивается по «детерминистскому сценарию», ее поведение является относительно устойчивым и предсказуемым.

Неравновесная термодинамика И. Пригожина. Синергетика Г. Хакена. Концепция самоорганизации М. Эйгена.

В 1960-70-е гг. бельгийский ученый русского происхождения И.Р. Пригожин разработал теорию диссипативных структур в рамках неравновесной термодинамики. В классической термодинамике рассматриваются системы, находящиеся в состояниях, близких к термодинамическому равновесию. Пригожин вместе с группой своих сотрудников изучал колебательные химические реакции, связанные с периодическими изменениями концентрации участвующих в них веществ. Возникающие при этом структуры, далекие от равновесных, были названы Пригожиным диссипативными структурами. Диссипативные структуры возникают в условиях постоянного притока энергии, которую они используют для поддержания и роста своей внутренней организации, причем происходит также рассеивание (диссипация) отработанной энергии в окружающую среду. Если в диссипативную структуру из среды поступает достаточное количество энергии, то микроскопические флуктуации, вместо того, чтобы затухать, усиливаются, превращаются в макроскопические, и диссипативная структура эволюционирует в направлении спонтанной самоорганизации.

В конце 1960-х гг. профессор Штутгартского университета Г. Хакен, занимающийся физикой лазеров, предложил свою концепцию самоорганизации, в которой ключевым является понятие «кооперативное поведение». При постоянном поступлении извне энергии разнонаправленные и несогласованные случайные действия, характерные для состояния хаоса, при некоторых критических значениях параметров системы приобретают коллективный, согласованный характер. Примеры коллективного поведения: самоорганизация атомов в узлах кристаллической решетки; когерентное излучение атомов в рабочем веществе лазерной установки при «накачке» энергии; образование циклонов в атмосфере; образование вихрей в текущей жидкости, порождающих турбулентность. Согласованное поведение, проявляющееся в масштабе всей системы, является центральным моментом самоорганизации.

В 1970-е гг. немецкий ученый М. Эйген, работающий в области молекулярной биологии, исследовал химический механизм самоорганизации. Эйгеном были обнаружены так назы-

ваемые циклические типы организации химических реакций, которые являются более совершенными по своим термодинамическим и кинетическим характеристикам, чем цепочечные. Основным понятием здесь является «гиперцикл» – упорядоченный определенным образом набор циклов. Эйген показал, что при благоприятных условиях сред сложные органические молекулы оказываются способными к воспроизведению и усложнению организации на предбиологическом уровне, при этом начинает действовать дарвиновский принцип естественного отбора.

ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

УДК 655.98

СТАНОВЛЕНИЕ КОМПЕТЕНТНОСТИ БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ В ПРАКТИКЕ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБУЧЕНИЯ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Л.Н. Козлова

Осуществление личностно-ориентированного профессионального образования предполагает прежде всего переосмысление его функций, определение наиболее приоритетных: когнитивная (познавательная); развитие личности; социализация и профессионализация; культурно-гуманистическая; технологическая.

Когнитивная функция. Эта функция заключается в направленности образования на формирование определенного уровня общенаучной, профессиональной и социальной компетентности студентов, т.е. на приобретение ими системы научных, технических и социальных знаний, умений и навыков как основ профессиональной деятельности. Действенность реализации когнитивной функции образования выражается в сознательном применении научных знаний в конкретных условиях профессиональной деятельности. Система обязательных для усвоения студентами знаний, умений, навыков по каждой специальности определяется Государственным образовательным стандартом профессионального образования и находит свое отражение в учебных планах и программах конкретных дисциплин. Доминирующая в предметно-ориентированной парадигме образования, данная функция сегодня перестает быть первостепенной и выступает как средство, условие реализации всех остальных функций образования: развития личности специалиста, его социализации и профессионализации, технологизации, становления как носителя общей и профессиональной культуры развития личности. Подготовка конкурентоспособного профессионально-мобильного специалиста в условиях информационно-технологического общества требует от системы профессионального образования преимущественной ориентации на развитие личности будущего специалиста. Развитие личности рассматривается в психологии как необратимый процесс количественных и качественных изменений личности в целом: ее физиологии, психических процессов, мотивационно-потребностной сферы; как разворачивание ее внутренних потенций и способностей. Прогнозируя дальнейшие перспективы научно-технического прогресса, социологи утверждают, что тотальная компьютеризация производства создаст неограниченные, глобальные ресурсы памяти. Основой развития данных способностей является овладение информационной, компьютерной грамотностью, формирование общеучебных умений и навыков, овладение методологическими знаниями, позволяющими прогнозировать, проектировать и анализировать свою профессиональную деятельность.

**СТАНОВЛЕНИЕ КОМПЕТЕНТНОСТИ БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ
В ПРАКТИКЕ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБУЧЕНИЯ**

Другой важнейшей составляющей данной функции профессионального образования становится развитие мотивационной сферы личности, ее духовных и профессиональных потребностей, обеспечивающих психологическую готовность к труду, к дальнейшему продолжению образования, к постоянному саморазвитию. По данным статистики, норма устарения профессии в индустриально развитых странах составляет примерно 8 лет, а в некоторых отраслях – 5 лет, то есть ежегодно обесценивается 20-30 % знаний каждого специалиста. В данных условиях профессиональное образование призвано обеспечить многопрофильность специалиста, его профессиональную мобильность, готовность к смене вида или содержания профессиональной деятельности.

Реализация развивающей функции среднего профессионального образования существенным образом зависит от целей, содержания и процесса обучения специальным дисциплинам. В контексте личностно и профессионально-ориентированных подходов к организации развивающего обучения приоритетным становится реконструирование традиционного обучения специальным дисциплинам будущих профессионалов в процессе их самостоятельного учения при научно-методической поддержке преподавателя, обеспечивающей гарантированное и системное решение образовательных и развивающих задач.

Социализация и профессионализация личности. Социализация представляет собой процесс и результат вовлечения личности в систему социальных отношений, социальную практику в целом; усвоение и воспроизводство человеком социального опыта.

Социализация предполагает не только и не столько адаптацию к социальным условиям, сколько активную деятельность личности по их преобразованию. Необходимость социализации личности диктует определенные требования к содержанию профессионального образования, которое не сводится к профессиональному научению, но включает дисциплины и курсы, обеспечивающие моделирование и воспроизводство жизненных отношений личности.

Профессионализацию необходимо рассматривать как составную часть социализации. Это процесс и результат становления человека как профессионала, вовлечения его в систему профессиональных отношений и профессиональную деятельность. Она предполагает активную направленность образования на определение и принятие студентом ценностей и смыслов профессиональной деятельности, осознания себя субъектом данной деятельности, проектирование целей своего профессионального развития и карьеры, овладение способами их достижения. Профессионализация невозможна без включения студентов в соответствующую практическую деятельность, без осуществления профессионально-ориентированных подходов к образованию и технологий обучения, создающих ситуации профессионального самоопределения.

Однако в результате профессионального обучения не всегда решается проблема профессионального самоопределения студента – нестабильность экономики, невостребованность труда большинства молодых специалистов порождают неуверенность выпускника в том, что он сможет применить свои силы в осваиваемой им сфере профессиональной деятельности. Перед профессиональным образованием стоят задачи: сформировать способность и готовность студента к дальнейшему жизненному и профессиональному самоопределению, к работе в смежных областях производства и к перемене сферы деятельности, к решению социальных, личностных проблем, которые встретятся на жизненном и профессиональном пути.

Успешность социализации и профессионализации во многом зависит от одновременной направленности профессионального образования на развитие индивидуальности личности, ее творческого потенциала, на обретение личностного смысла профессионального обучения, на становление социальной и профессиональной позиции студента.

Отметим что для решения данных задач профессиональное образование должно помочь студентам:

- развить смысло-жизненные ориентации, осознать свое призвание, свои возможности;
- спроектировать свой жизненный и профессиональный путь;
- приобрести готовность к самоопределению в системе межличностных и профессионально-деловых отношений, овладеть умениями и навыками общения;

– развить организаторские способности, приобрести начала управленческой компетентности будущего специалиста, подготовиться к принятию социально- и профессионально-ценных решений в сложных ситуациях жизни и профессиональной деятельности.

Культурно-гуманистическая функция образования заключается не только в обеспечении восходящего воспроизводства культуры, но и в становлении индивида как человека культуры, определяющей его успешное развитие, социализацию и профессионализацию, а следовательно, качество личностного, гражданского и экономического существования. Образование становится важнейшим условием и средством формирования действительно культурного способа удовлетворения личностью своих многообразных потребностей, выбора достойного образа жизни.

Б. Пастернак считал что, любая деятельность человека, в том числе и профессиональная, культуросообразна, если в процессе ее происходит не только создание материальных и духовных ценностей, но, прежде всего, личностный рост человека, его духовное возвышение.

Например, необходимость реализации организационно-управленческой деятельности предопределяет потребность в высоком уровне управленческой культуры специалиста, дающем возможность решать проблемы с учетом желаний и интересов отдельных людей, общественного значения и личностных смыслов их производственной деятельности, формировать культуру отношений в коллективе.

Именно среднее профессиональное образование в силу своей социально-профессиональной значимости обладает потенциальной возможностью удовлетворить профессиональные познавательные потребности, потребности в трудовой деятельности человека. Обучающийся в учреждении среднего профессионального образования в ходе учебно-познавательной деятельности осваивает систему знаний, умений и навыков о средствах и способах осуществления производственных процессов, которые по своей природе и сущности технологичны.

ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

УДК 655.98

РОЛЬ КОМПЕТЕНТНОСТНОГО ПОДХОДА В ПРОФЕССИОНАЛЬНОМ ОБРАЗОВАНИИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ПРОФЕССИОНАЛОВ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Л.Н. Козлова

Пути выхода общества из кризиса связаны, прежде всего, с совершенствованием образования.

Э.Ф. Зеер, основываясь на идеях К.К. Платонова, спроектировал четырехкомпонентную профессионально-обусловленную структуру личности специалиста (Таблица 1).

Проблема развития ключевых квалификаций может быть решена в процессе реализации личностно-ориентированного профессионального образования. Этот подход находит свое применение не только в профессиональном, но и в общем образовании.

Заметим что, пути выхода из кризиса общества связаны, прежде всего, с совершенствованием образования.

Парадигма — это целостная совокупность идей, ценностей, ведущий подход к объясне-

**РОЛЬ КОМПЕТЕНТНОСТНОГО ПОДХОДА В ПРОФЕССИОНАЛЬНОМ ОБРАЗОВАНИИ
ПРИ ПОДГОТОВКЕ ПРОФЕССИОНАЛОВ**

нию мира, который становится общепринятым в научном сообществе определенной науки или ряда наук (Т. Кун).

Таблица 1 – Профессионально обусловленные компоненты личности специалиста

Подструктуры профессиональных качеств	Социально-психологические и психофизиологические компоненты личности	Профессионально обусловленные ключевые квалификации
Профессиональная направленность	Склонности, интересы, отношения, ожидания, установки, мотивы	Социально-профессиональные способности: готовность к кооперации, направленность на достижения, успех и профессиональный рост, корпоративность, надежность, социальная ответственность и др.
Профессиональная компетентность	Профессиональные знания, умения и навыки, квалификация	Социально-правовая и экономическая компетентность, специальная компетентность, персональная компетентность (знания, умения, выходящие за рамки одной профессии и др.)
Профессионально важные качества	Внимательность, наблюдательность, креативность, решительность, контактность, самоконтроль, самостоятельность и др.	Профессиональная самостоятельность, социально-профессиональный интеллект, способность к планированию технологических процессов, диагностические способности, профессиональная мобильность, самоконтроль и др.
Профессионально значимые психофизиологические свойства	Энергетизм, нейротизм, экстравертированность, зрительная координация, реактивность и др.	Обобщенные профессиональные способности: координация действий, быстрота реакции, глазомер, ручная сноровка, выносливость, стрессоустойчивость и др.

Отметим закономерность появления новой парадигмы образования, связанного не только с социально-экономическими изменениями, оно подготовлено всем ходом развития культуры. Особая роль в ее становлении принадлежит гуманистической философии и психологии (Э. Фромм, Ж.П. Сартр, В. Франкл, Н. Бердяев, А. Маслоу, К. Роджерс и др.). Основная идея данной концепции – признание уникальности, индивидуальности; безусловной ценности каждого единичного человеческого бытия, каждой личности.

Значительный вклад в развитие идей, лежащих в основе нового подхода к образованию, внесли отечественные психологи: учение о зоне ближайшего развития и роли совместной деятельности в развитии человека (Л.С. Выготский), исследования о функциях личности в жизнедеятельности, о смысловой сфере, о развитии рефлексивных возможностей человека, о глубинных закономерностях его психического развития в процессе учебной деятельности (А.Н. Леонтьев, Л.И. Анциферова, А.В. Петровский, П.Я. Гальперин, В.В. Давыдов и др.).

Идеи самоорганизации, саморазвития, самоопределения, самореализации и самоактуализации, провозглашенные синергетикой (И. Пригожин), гуманистической философией и психологией, оказались особенно востребованными в современной социокультурной ситуации, что определило появление личностно-ориентированной парадигмы образования, сущность которой заключается в следующем:

- человек рассматривается как сложная саморазвивающаяся система, признается уникальность и неповторимость каждой личности и траектории её развития, её самоценность;
- целевые установки образования смещаются с информатизации личности на создание условий и помощь в развитии и саморазвитии личности в целом;
- меняется позиция обучающегося в образовательном процессе, который теперь дол-

жен строиться в соответствии с его, обучающегося, потребностями, интересами и возможностями, обеспечивать личностный смысл деятельности, создавать пространство для проявления и развития этих потребностей, интересов, возможностей.

Появление новой парадигмы влечет за собой разработку педагогических концепций личностно-ориентированного образования и обучения, вызывает потребность педагогов-практиков в преобразовании своей деятельности на их основе. Однако содержание, которое вкладывается в понятия «личностно-ориентированное образование» и «личностно-ориентированное обучение», неоднозначно как на обыденном, так и на научном уровне. Существующие концепции личностно-ориентированного обучения видят его специфику и отличие от традиционного, предметно-ориентированного, обучения прежде всего в том, что усваиваемые знания и способы деятельности являются не самоцелью, а средством, условием для реализации потребности человека «быть личностью» (А.В. Петровский), для «становления его субъектности», обогащения личностного субъектного опыта (И.С. Якиманская), для реализации «личностных функций» (В.В. Сериков), для становления индивида как человека культуры (Е.В. Бондаревская). Стремление отождествлять процессы личностно-ориентированного образования и обучения связано с его, личностно-ориентированным обучением, «культуросообразным, человекообразующим и жизнеобеспечивающим» Характером, направленностью на реализацию прежде всего не дидактических, а воспитательных целей». Основными «характеристиками личностно-ориентированного образовательного процесса становятся, таким образом, его иная целевая направленность и позиции участников: превращение студента в подлинного субъекта учебного процесса, полноценно реализующего в нем свой способ жизнедеятельности, свою индивидуальность, а преподавателя – в организатора, координатора деятельности студента, в связующее звено между ним и культурой; обеспечивающее вхождение студента в культуру и самоопределение в ней.

Высшим уровнем профессионализма является профессиональное мастерство, предусматривающее творческий характер и сформированность индивидуального стиля профессиональной деятельности.

Компоненты процесса профессионального развития не существуют изолированно, они тесно взаимосвязаны и взаимообусловлены (рисунок 1).



Рисунок 1 – Схема профессионального развития

Профессиональной школе необходимо осуществить переход от подготовки специалистов к подготовке профессионалов, обладающих не только профессиональной компетентностью и квалификацией, но и ключевыми квалификациями и компонентами.

Идею компетентно – ориентированного образования можно считать одним из ответов на вопросы о направлениях модернизации образования.

Остановимся на целях и задачах модернизации российского образования. Правительство Российской Федерации одобрило Концепцию модернизации российского образования на период до 2010 г., которая преследует своей целью создание механизмов устойчивого развития системы образования.

Для достижения указанной цели должны быть решены следующие задачи:

- обеспечение государственных гарантий доступности и равных возможностей получения полноценного образования;
- достижение современного качества дошкольного, общего и профессионального обра-

зования;

- формирование в системе образования нормативно-правовых и организационно-экономических механизмов привлечения и использования внебюджетных ресурсов;
- повышение социального статуса и профессионализма работников образования, усиление их государственной и общественной поддержки;
- развитие образования как открытой государственно-общественной системы на основе распределения ответственности между субъектами образовательной политики и повышения роли всех участников образовательного процесса: обучающегося, педагога, родителей, образовательного учреждения.

Образование становится все более мощной движущей силой экономического роста, повышения эффективности и конкурентоспособности народного хозяйства, благосостояния страны и благополучия каждого гражданина. Обновленное образование должно сыграть ключевую роль в обеспечении устойчивого динамичного развития российского общества – общества с высоким уровнем жизни, гражданско-правовой, профессиональной и бытовой культуры.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

УДК 681.3

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЦЕЛОСТНОСТИ ИНФОРМАЦИИ В ЗАДАЧАХ ВИБРОДИАГНОСТИКИ

ФГОУ ВПО «Государственный университет путей сообщения»

В.Г. Шахов, И.В. Федоров

Проблема целостности информации заключается в необходимости повышения достоверности результатов вибродиагностики. Разработаны и программно реализованы алгоритмы обеспечения целостности информации о результатах вибродиагностики. Использование этих алгоритмов должно привести к повышению достоверности результатов вибродиагностики.

Достоверность вибродиагностики и целостность информации. Сегодня на промышленных предприятиях всё чаще переходят от планово-предупредительного ремонта механического оборудования к ремонту по состоянию. Для этого применяются диагностические средства, позволяющие оценивать техническое состояние оборудования.

Комплекс «Прогноз-1М» является вибродиагностическим устройством и предназначен для диагностирования узлов механического оборудования. Диагностирование узлов производится путем получения сигналов с вибродатчиков и проведения спектрального анализа этого сигнала [1]. Информация о диагностируемых узлах, в том числе спектры вибросигналов, и результаты диагностики заносятся в базу данных.

За длительное время эксплуатации комплекса «Прогноз-1М» выявлены факторы, оказывающие отрицательное воздействие на результаты диагностики:

- оператор комплекса может установить датчик не на тот узел, который необходимо диагностировать, в результате чего будут применены методы диагностики, неподходящие для данного узла;
- возможно влияние сильных электромагнитных помех на полезный сигнал с датчиков вибрации (наводки от цепей питания);
- возможно неплотное прилегание датчика вибрации к диагностируемому узлу, из-за че-

го амплитуда сигнала с него очень мала;

– возможно повреждение или обрыв кабеля датчика вибрации, тогда сигнал на входах АЦП будет представлять собой низкоуровневый шум.

При диагностировании объекта по сигналу с датчика вибрации, подверженному влиянию одного или нескольких из перечисленных выше факторов, неизбежно нарушение целостности информации о диагностируемом объекте. При этом возможно расхождение между техническим состоянием объекта и располагаемой о нём информацией.

Из-за этого высока вероятность постановки ложного диагноза и, как следствие, допуска в эксплуатацию дефектного узла, что недопустимо, или разбора исправного узла, что ведёт к финансовым потерям.

Полное устранение влияния этих факторов практически невозможно. Поэтому необходимо обнаруживать и устранять ошибки в съемах, обусловленные влиянием вышеозначенных факторов, на этапе между съемом сигнала с датчиков вибрации и анализом этого сигнала.

Необходимо разработать методы, с помощью которых можно было бы оценить наличие влияния каждого из перечисленных вредных факторов. Вследствие применения этих методов должна повыситься целостность информации, накапливаемой в базе данных комплекса оперативной вибродиагностики и достоверность диагноза о техническом состоянии испытуемого узла.

Методы проверки целостности информации. О наличии помехи, вносимой наводками цепей питания промышленной частоты можно говорить, если в спектре снятого сигнала ярко выражен гармонический ряд с частотой питающей сети.

Гармоники этих частот могут присутствовать в спектрах и качественно снятых сигналов, из-за наличия дефектов диагностируемого объекта, которые обуславливают наличие соответствующих гармоник. Однако гармоники, появление которых обусловлено влиянием помех по цепям питания, отличаются значительно большей амплитудой, нежели те, появление которых вызвано дефектом диагностируемого объекта.

Анализ сигнала на наличие характеристических частот (f_x) производится по спектру огибающей. В ходе проведенных экспериментов было выбрано количество анализируемых кратных гармоник для каждой частоты равное трём, (то есть для гармоники 50 Гц – это частоты 50, 100 и 150 Гц). Рассматривается диапазон частот от $(f_x - 0,02 \cdot f_x)$ до $(f_x + 0,02 \cdot f_x)$. Считается уровень тренда – среднеквадратическое значение амплитуды сигнала в этом диапазоне частот, и определяется значение амплитуды на характеристической частоте. Если амплитуда характеристической частоты превышает уровень тренда более чем на заданную величину во всех трех учитываемых гармониках, то делается вывод о наличии помех по питанию, и, как следствие, недостоверности информации. Результат диагностики технического состояния узла по такому сигналу не будет достоверным.

Обнаружение обрыва или повреждения кабеля датчика вибрации, а также некоторых случаев его неправильной установки производится путем анализа коэффициента усиления сигнала. Коэффициент усиления сигнала характеризует амплитуду виброускорения, измеряемого датчиками вибрации. Амплитуда сигналов с датчиков при обрыве или повреждении кабеля, некачественной установке датчика на объект диагностики будет мала, следовательно, коэффициент усиления такого сигнала будет велик. Если значение коэффициента усиления равно максимально возможному, то считается, что информация о состоянии диагностируемого объекта искажена и не может использоваться для диагностики.

Для обеспечения целостности информации о техническом состоянии объекта диагностики необходимо определить, что полученные с датчиков вибрации показания в действительности относятся к указанному оператором комплекса узлу. Иными словами, необходимо проверить, что оператор не перепутал места установки датчиков. Программа должна сравнить спектр вибросигнала снятого с определенного узла с эталонным спектром сигнала для этого узла и определить, совпадают они или нет. Но ввиду того, что на диагностируемый объект в разные моменты времени действуют различные случайные процессы (например, дефекты самого объекта, температура окружающего воздуха, состояние испытательного

оборудования), спектр его вибросигнала в разные моменты времени неодинаков и не может полностью совпадать с эталоном. Поэтому необходимо выявить глубину связи (зависимости) между спектром полученного с узла вибросигнала и эталонным спектром для этого узла. И уже на основании глубины этой зависимости делать заключение о соответствии или несоответствии данного вибросигнала указанному оператором узлу.

Разработано множество методов изучения связей, выбор которых зависит от целей исследования и от поставленных задач [2].

Корреляционный анализ имеет своей задачей количественное определение тесноты связи между признаками. Теснота связи количественно выражается величиной коэффициента корреляции. При прямолинейной форме связи показатель тесноты связи двух признаков определяется по формуле линейного коэффициента корреляции (КК)

$$r(X, Y) = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sqrt{D(X) \cdot D(Y)}}, \quad (1)$$

где X, Y – случайные величины;

$\text{cov}(X, Y)$ – ковариация случайных величин X и Y ;

$D(X), D(Y)$ – дисперсии случайных величин X и Y .

Спектр сигнала, получаемый с точки с помощью датчика вибрации, можно представить как сумму неизменяемой составляющей и случайной составляющей. Неизменяемая составляющая является характеристикой точки как съема как таковой и обуславливается собственными резонансными частотами испытываемого узла в данной точке. Случайная же составляющая формируется под воздействием случайных внешних факторов и текущего состояния диагностируемого узла (наличие или отсутствие дефектов). Эталонный спектр для каждого узла описывает неизменяемую составляющую спектра сигнала вибрации.

Исходный спектр сигнала представляет собой двумерный массив из N значений (соответствий амплитуды A частоте ω). Число N может быть очень велико, и обработка всех значений займет много времени. К тому же необходимо, чтобы число значений в анализируемом спектре и эталоне было одинаковым. Поэтому необходимо использовать модель спектра, а не обрабатывать его целиком.

Информация о неизменяемой составляющей спектра сигнала в большей мере представлена в низкочастотной области. Поэтому для повышения информативности модели спектра необходимо сжать его высокочастотную область в пространстве частот. Наиболее распространённый метод благодаря его простоте – логарифмическое сжатие или мел-сжатие [3]

$$\Omega = 1125 \lg(0,0016\omega + 1), \quad (2)$$

где ω – частота в исходном спектре;

Ω – частота в новом сжатом пространстве.

Далее сжатое частотное пространство разбивается на n равных интервалов. Каждому интервалу присваивается порядковый номер от 1 до n . На каждом из интервалов считается среднее значение амплитуды. В результате получаем модель спектра в виде зависимости усредненной амплитуды на интервале от номера интервала.

Эталон представляет собой такую же зависимость и с таким же количеством элементов, но получен следующим образом. Из базы данных спектров для исследуемой точки объекта диагностирования, полученной за длительный промежуток времени, выбирается один, наиболее удовлетворяющий некоторым условиям (без дефектов), создается его модель и принимается за промежуточный эталон. Затем, по формуле (1) находятся коэффициенты корреляции моделей всех спектров, имеющихся в базе данных с этим эталоном. Далее образуется новый промежуточный эталон как среднее от всех моделей спектров с КК большими 0,5. Затем вычисляют КК всех моделей спектров с новым промежуточным эталоном, получают следующий промежуточный эталон, но уже с условием, что КК больше 0,6, затем – 0,7 и 0,8. Последний полученный промежуточный эталон считается эталоном выбранной точки.

Корреляционный анализ съёмов на соответствие эталону проводится по прямому спек-

тру вибросигнала в диапазоне частот до 800 Гц. Установлено количество интервалов для модели $n = 40$.

Для каждого узла диагностируемого объекта по результатам накопленных данных были созданы эталоны.

Таким образом, у нас имеется модель эталонного спектра и модель спектра полученного с датчиков вибрации сигнала. Необходимо найти КК двух моделей по формуле (1).

Для оценки значимости КК применяется t -критерий Стьюдента. При этом определяется фактическое значение критерия t_r по формуле [4]

$$t_r = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}}. \quad (3)$$

Исчисленное t_r сравнивается с критерием t_T , которое берется из таблицы значений коэффициентов Стьюдента с учетом заданного уровня доверительной вероятности P и количества элементов массива n .

Если $t_r > t_k$, то величина КК признается существенной.

Зададимся доверительной вероятностью $P = 0,999$. В нашем случае $n = 40$. Согласно таблице коэффициентов Стьюдента в таком случае $t_T = 3,551$.

Для того чтобы величина КК могла считаться значимой, необходимо выполнение следующего неравенства

$$3,551 < r \sqrt{\frac{40-2}{1-r^2}}. \quad (4)$$

Решив это неравенство, с учётом того, что $-1 \leq r \leq 1$, получаем, что вычисленный КК моделей спектров эталона и текущего съема – R можно считать значимым при $-1 \leq R \leq -0,499$ или $0,499 \leq R \leq 1$.

Отрицательный коэффициент корреляции свидетельствует об обратной зависимости величин. В нашем случае при отрицательном коэффициенте корреляции можно говорить о несоответствии модели спектра текущего съема эталону спектра для этого узла.

По величине КК делается заключение о соответствии текущего съема эталону для установленной оператором точки. Если КК меньше 0,5, то съём считается несоответствующим эталону. Если КК находится в пределах от 0,5 до 1, то съём соответствует эталону.

Введение этого метода проверки достоверности съема при вибродиагностике узлов механического оборудования позволяет защитить информацию о техническом состоянии испытуемого узла от непреднамеренного воздействия оператора комплекса оперативной диагностики «Прогноз-1М» на этапе её получения.

Использование разработанных методов. Создано программное средство, реализующее разработанные алгоритмы проверки съёмов на целостность. Программа позволяет создавать модели эталонов и осуществлять проверку целостности имеющихся баз данных по вибродиагностике, а также проводить корректировку БД по результатам проверки.

В результате проверки реальных баз данных по вибродиагностике с помощью созданной программы выявлено, что каждая обработанная база данных содержит недостоверную информацию. Причём в различных базах данных доля недостоверной информации может достигать 50%, основная часть некачественной информации обусловлена ошибками оператора при установке датчиков вибрации на объект диагностирования.

Использование всех трёх разработанных методов проверки целостности информации (анализ по характеристическим частотам, анализ по коэффициенту усиления, сравнение с эталоном) непосредственно в процессе диагностики позволит исключить дальнейшую обработку заведомо нецелостной информации. Это позволит улучшить качество работы операторов комплекса оперативной диагностики «Прогноз-1М» и повысить достоверность вибродиагностики узлов механического оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Тэттэр, В.Ю. Анализ развития систем вибродиагностики и тенденции их развития

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЦЕЛОСТНОСТИ ИНФОРМАЦИИ
В ЗАДАЧАХ ВИБРОДИАГНОСТИКИ**

[Текст]: / В.Ю. Тэттэр, В.И. Щедрин // Омский научный вестник. -№3. -2000.

2 **Бронштейн, И.Н.** Справочник по математике **[Текст]:** / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев // -М.: Наука, 1986. -532 с.

3 **Фролов, А.А.** Синтез и распознавание речи. Современные решения **[Текст]:** / А.А. Фролов, Г.А. Фролов // -М.: Аванта, 2001. -356 с.

4 **Ходасевич, Г.Б.** Обработка экспериментальных данных на ЭВМ **[Текст]:** / Г.Б. Ходасевич // -С-Пб.: СПбГУТ, 2002. -216 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

В.П. Зачёсов, С.Г. Сандулов

ОБЪ-ИРТЫШСКИЙ МЕРИДИОНАЛЬНЫЙ РОССИЙСКИЙ ТРАНСПОРТНЫЙ
КОРИДОР В СИСТЕМЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СВЯЗЕЙ 3

А.И. Гладких

КОНКУРЕНЦИЯ В СФЕРЕ РЕЧНЫХ ПЕРЕВОЗОК..... 7

В.М. Бунеев, Ю.Г. Брюханов, Ю.А. Самахов

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ
ПОТРЕБИТЕЛЯМ ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА 10

А.Г. Панова

РАЗВИТИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РЕГИОНАЛЬНОЙ
ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ ЯКУТИИ..... 14

В.А. Виниченко

УРОКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА В РЕШЕНИИ
КРУПНЫХ ПРОБЛЕМ ХОЗЯЙСТВЕННОГО ОСВОЕНИЯ СИБИРИ..... 18

Д.Ю. Сахнов

ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
КАПИТАЛОВЛОЖЕНИЙ НА РЕЧНОМ ТРАНСПОРТЕ..... 24

ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

Ю.И. Бик, О.В. Приданова

ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ НОВОСИБИРСКОГО ШЛЮЗА
НОВОСИБИРСКОГО РАЙОНА ВОДНЫХ ПУТЕЙ,
ГИДРОСООРУЖЕНИЙ И СУДОХОДСТВА..... 27

П.С. Чернышов

ПЕРСПЕКТИВЫ РОСТА ПЕРЕВАЛКИ ГРУЗОВ В ПОРТАХ..... 29

П.С. Чернышов

ЗАЩИТА ДНА ПЕРЕД НАБЕРЕЖНОЙ ОТ РАЗМЫВА..... 32

Е.В. Фомичева

ВЫБОР РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ, ОПТИМАЛЬНОЙ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ
ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИХ ОПОР НОВОГО ТИПА..... 34

П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЯ ВЫБОРА РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ
ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИХ ОПОР НОВОГО ТИПА..... 38

Н.П. Ахматова

ХАРАКТЕР ДВИЖЕНИЯ ГРЯДОВЫХ ФОРМ
В НИЖНЕМ БЬЕФЕ НОВОСИБИРСКОЙ ГЭС..... 42

СОДЕРЖАНИЕ

А.Б. Палагушкин

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДВИЖЕНИЯ СУДОВ НА РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ.....	46
--	----

СУДОВОЖДЕНИЕ

В.И. Сичкарев, В.К. Лубковский

ИЗМЕРЕНИЕ ВЫСОТ И ДЛИН ВОЛН ОРТОГОНАЛЬНО-ЛИНЕЕЧНЫМ ДЛИНО-ВЫСОТО-ВОЛНОМЕРОМ.....	48
--	----

В.И. Сичкарев, Г.С. Гридасов

ТРЕНАЖЕРНАЯ ПОДГОТОВКА СУДОВОДИТЕЛЕЙ К УПРАВЛЕНИЮ СУДНОМ ПО ЭКС И СНС	55
--	----

Ю.А. Комаровский

ПОГРЕШНОСТИ РАСЧЁТОВ НАПРАВЛЕНИЯ НА УДАЛЁННЫЙ ОРИЕНТИР ПО КООРДИНАТАМ ПРИЁМНИКА СРНС НАВСТАР GPS GP-270ML.....	57
---	----

Ю.А. Комаровский

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ПРИЁМНИКОМ СРНС НАВСТАР GPS SPR-1400.....	61
--	----

В.К. Лубковский

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕТОРО-ВОЛНОВЫХ ПОТЕРЬ СКОРОСТИ СУДОВ СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ОРТОГОНАЛЬНО-ЛИНЕЕЧНОГО ВОЛНОМЕРА.....	68
--	----

Д.И. Бобровский

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ ТОРМОЗНЫХ ЩИТОВ С УЧЕТОМ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВОРОТА РЕКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАНЕВРА АКТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ СУДНА	74
---	----

Д.И. Бобровский

О ВЫБОРЕ БЕЗОПАСНОЙ СКОРОСТИ СУДНА ПРИ ВХОЖДЕНИИ В ПОВОРОТ	77
---	----

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

А.М. Барановский, А.Н. Потянихин

МАЯТНИКОВАЯ ЖЕСТКОСТЬ ПРУЖИННЫХ ПОДВЕСОК.....	80
---	----

М.К. Романченко

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПРУЖИННЫХ ПОДВЕСОК.....	83
---	----

Р.Ф. Пеньков, И.С. Иванчик, А.О. Токарев

ХАРАКТЕРНЫЕ ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ ШЕСТЕРЕН СУДОВЫХ И ПОРТОВЫХ МЕХАНИЗМОВ	87
--	----

В.В. Загоровский, О.Н. Сибрикова

ВОДО-ТОПЛИВНЫЕ ЭМУЛЬСИИ И ИХ СВОЙСТВА	97
---	----

СОДЕРЖАНИЕ

С.Н. Бурков, А.М. Ефремов

ВЛИЯНИЕ НЕЛИНЕЙНО-ВЯЗКОГО ТРЕНИЯ ПРИ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЯХ ДИЗЕЛЯ, УСТАНОВЛЕННОГО НА ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИЕ ОПОРЫ С КОМПЕНСАТОРАМИ ЖЕСТКОСТИ 99

В.П. Ледвягин

ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ВОССТАНОВЛЕННЫХ НАПЛАВКОЙ 103

С.В. Титов, Г.С. Юр

КАВИТАЦИОННЫЙ ТЕРМИЧЕСКИЙ ГАЗОВЫЙ ГЕНЕРАТОР ДЛЯ ГАЗИФИКАЦИИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА 107

О.И. Шелудяков

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ВИДЫ ТОПЛИВА..... 110

И.С. Балахонов, А.Н. Нефёдкин, И.Н. Яичникова

МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА ОРГАНИЗМ 113

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

**Ю.В. Демин, Г.В. Иванов, А.Ю. Кузнецов,
А.С. Лесных, А.И. Мозилов, Б.В. Палагушкин**

СОСТОЯНИЕ СТАЛЬНЫХ ИСКУССТВЕННЫХ ЗАЕМЛИТЕЛЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ СНГ 126

**Ю.В. Демин, Г.В. Иванов, А.Ю. Кузнецов,
А.С. Лесных, А.И. Мозилов, Б.В. Палагушкин**

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЁТА КОРРОЗИОННЫХ ТОКОВ И ПОТЕНЦИАЛОВ В ЗАЕМЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ 131

Д.В. Плаксин

СНИЖЕНИЕ ШУМА СРЕДСТВАМИ ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ, ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ И ЭКРАНИРОВАНИЯ..... 140

Т.В. Пилипенко

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ 142

**С.В. Горелов, А.В. Бастрон, С.Б. Долгушин,
В.Е. Крышталёв, С.Г. Куликов, Я.Ю. Кензап**

ЭЛЕКТРОТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ И БЫТОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ..... 144

ЭКОЛОГИЯ

С.С. Голушко, С.А. Круговых, И.Н. Яичникова

ПОИСК И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНОГЕННЫХ СИТУАЦИЙ..... 150

Т.Е. Прошунина, А.С. Шукшина, И.Н. Яичникова

КИБЕРНЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИЗУЧЕНИЮ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ..... 156

СОДЕРЖАНИЕ

Е.И. Кузнецова, Е.Н. Толстикова, И.Н. Яичникова

ВОЗДЕЙСТВИЕ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ НА ОРГАНИЗМ
ЧЕЛОВЕКА, АКУСТИЧЕСКАЯ КАВИТАЦИЯ И НЕКОТОРЫЕ
ТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА 161

К.В. Бородин, М.Н. Солдышев, И.Н. Яичникова

СИНЕРГЕТИКА КАК НАУКА О САМООРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМ.
УСЛОВИЯ И МЕХАНИЗМ САМООРГАНИЗАЦИИ 165

ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Л.Н. Козлова

СТАНОВЛЕНИЕ КОМПЕТЕНТНОСТИ БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ
В ПРАКТИКЕ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБУЧЕНИЯ 174

Л.Н. Козлова

РОЛЬ КОМПЕТЕНТНОСТНОГО ПОДХОДА В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ
ОБРАЗОВАНИИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ПРОФЕССИОНАЛОВ..... 176

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

В.Г. Шахов, И.В. Федоров

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЦЕЛОСТНОСТИ ИНФОРМАЦИИ
В ЗАДАЧАХ ВИБРОДИАГНОСТИКИ 179