

Техногенная трансформация русла р.Обь в нижнем бьефе Новосибирского гидроузла и ее влияние на состояние водного пути

ТЕМА:

АНАЛИЗ ОБЪЕКТИВНЫХ ФАКТОРОВ, ОКАЗАВШИХ ВЛИЯНИЕ НА РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ НА УЧАСТКЕ Р. ОБЬ И ОСЛОЖНИВШИХ МЕСТНЫЕ УСЛОВИЯ СУДОХОДСТВА

АВТОРЫ:

Р.С. ЧАЛОВ, д.г.н., профессор, кафедры гидрологии суши (КГС), заведующий Научно-исследовательской лабораторией эрозии почв и русловых процессов (НИЛЭПиРП) им. Н.И. Маккавеева, МГУ им. М.В. Ломоносова; С.В. ПАВЛУШКИН, к.т.н., руководитель ФБУ «Администрация Обского БВП»; К.М. БЕРКОВИЧ, д.г.н., ведущий научный сотрудник НИЛЭПиРП; С.Н. РУЛЕВА, к.г.н., старший научный сотрудник НИЛЭПиРП

ФОТО:

Предоставлено авторами

Исследование выполнено по госзаданиям НИР КГС (проект 121051400035-1) и НИЛЭПиРП (проект 121051200166-А – исходные материалы) при финансовой поддержке РНФ (проект 18-17-00086 П – натурные исследования).

Река Обь в нижнем бьефе Новосибирского гидроузла – важнейший воднотранспортный участок, находящийся под постоянным, очень разнообразным и все возрастающим техногенным воздействием [1]. Именно оно, наряду с режимами стока воды и наносов, русловыми деформациями, определяет условия судоходства в пределах Новосибирской агломерации и ниже по течению. Вот лишь неполный перечень факторов, изменяющих местную гидроморфологию: Новосибирская ГЭС, несколько железнодорожных и автомобильных мостов, метромост, водозаборы и выпуски сточных вод, подводные переходы и ЛЭП, набережные и берегозащитные дамбы, речной вокзал, причалы различных организаций, инженерные береговые и речные сооружения, полузапруды, русловые карьеры песка и гравия, рекреационные зоны, а также дноуглубительные работы на трассе судового хода и внутранзитные для обеспечения водных подходов к причалам, затонам и береговым объектам.

Специальные научно-исследовательские работы по изучению руслового режима Оби ниже Новосибирского гидроузла были проведены еще в 1960-80-х годах, когда шло активное освоение нефтега-

зовых месторождений Западной Сибири и, как следствие, росли объемы грузоперевозок по реке и ужесточались требования к водному пути (ВП) [2].

На основе полученных результатов на всем протяжении от гидроузла до устья р.Томь и в первую очередь до п.Ташары (т.е. в пределах Новосибирской агломерации) были осуществлены капитальные дноуглубительные и выправительные работы, позволившие к концу 1980-х годов создать устойчивый и надежный ВП, снизить затраты на его содержание, повысить устойчивость русла. При этом многие приемы и методы регулирования русла, зачастую впервые примененные на Оби, стали хрестоматийными примерами использования способов управления русловыми процессами, обеспечивающими совершенствование ВП, технико-экономическую эффективность, гидро-техническую и гидроэкологическую безопасность [3].

Однако уже в то время стал очевидным факт наличия регулирующего влияния на реку: с 1959 г. – Новосибирского гидроузла, позднее – карьеров песка и щебня, превративших реку в источник промышленных ресурсов.

Новосибирское водохранилище осуществляет все виды регулиро-

вания стока (сезонное, недельное, суточное), задерживает полностью сток влекомых песчаных наносов и около 70% стока взвешенных. Сезонное регулирование, проявляющееся в уменьшении водности половодья и увеличении водности летне-осенней межени, прослеживается более чем на 600 км ниже плотины. Максимальные расходы половодья сократились на 30-35%, соответственно повысились расходы воды в летне-осеннюю и зимнюю межень. На это наложились маловодные периоды – начавшийся с 1980 г. и затем с 1995 г., которые продолжаются по настоящее время. Так, средний максимальный уровень на гидропосту Новосибирск с 2004 г. понизился на 160 см, на г.п. Дубровино – на 100 см, хотя средние минимальные уровни навигационного периода практически не изменились.

Режим попусков воды в нижний бьеф в условиях значительной посадки уровней в годы с маловодным стоком (обеспеченностью 80% и более) заметно отличается от определенно-го «Основными положениями правил использования водных ресурсов Новосибирского водохранилища на р.Обь» 1969 г., предусматривающими круглогодичное бесперебойное обеспечение водными ресурсами

КСТАТИ

Задержание водохранилищем основного объема влекомых наносов привело к интенсивному компенсационному размыву русла на участке в 100 км в нижнем бьефе.

всех основных водопользователей как в летний, так и в зимний периоды. Вместе с тем за последние годы, в связи с нехваткой дождевых вод на верхней Оби и притоках, на участке реки ниже Новосибирской ГЭС раннее наступление меженного периода переместилось с середины августа на третью декаду июля. В отдельные годы минимальные попуски воды в меженный период (навигация) составляют 900-950 м³/с, при которых уровни воды по г.п. Новосибирск опускаются до отметок -20--25 см, с учетом обеспечения бесперебойной работы городских водозаборов. Кроме того, по причине посадки уровней для поддержания гарантированной глубины увеличился гарантированный попуск воды в нижний бьеф – с 1300 до 1900-2000 м³/с.

Протяженность нижнего бьефа Новосибирской ГЭС равна 350 км, недельное регулирование влияет на участок длиной 500 км до г.Колпашево; суточные волны попусков (ВП) – на 40-50 км ниже створа станции, а окончательно они трансформируются в 100 км от створа станции.

Уровневый и гидравлический режим ниже Новосибирской ГЭС в значительной мере определяется прохождением ВП суточного и недельного регулирования нагрузки станции. На переднем фронте волны фиксируется существенное увеличение скорости течения, в частности придонной. При работе всех агрегатов скорость течения возрастает в 3,5 раза, в 6 км от плотины достигая 1,4-1,7 м/с, тогда как в районе г.п. Новосибирск отмечается снижение до естественных значений – 0,5-0,7 м/с. При таких скоростях могут перемещаться частицы диаметром до 40 мм, а при естественном режиме – лишь 2-4 мм. Отсюда большая роль, которую играет неустановившийся режим потока в развитии глубинной эрозии.

Кроме того, после создания Новосибирского водохранилища изменился режим твердого стока на 110-километровом участке створ ГЭС – с.Дубровино. Объем стока наносов, поступающего в нижний бьеф через створ гидросооружения, составляет лишь 4,4% бытового. Задержание водохранилищем основного объема влекомых наносов привело к интенсивному компенсационному размыву русла на участке в 100 км в нижнем бьефе.

Следствием глубинной эрозии являются падение уровней (осо-

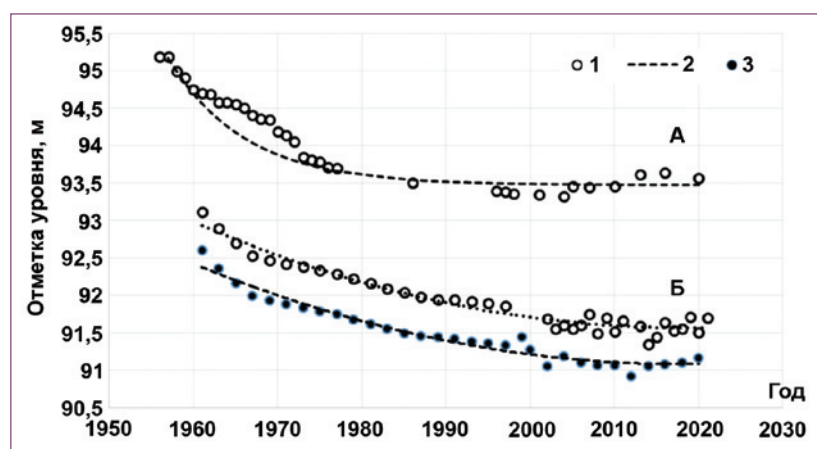


Рис. 1. Многолетний ход уровней периода открытого русла на гидропостах Нижний бьеф (А) и Новосибирск (Б): 1 – уровни при расходе 1300 м³/с; 2 – аппроксимирующая кривая; 3 – минимальные уровни за период навигации

бенно минимальных), характеризующих понижение дна реки в ходе размыва. По итогам измерений выяснилось, что понижение средней отметки дна у плотины к 1985 г. составило не менее 150 см. За 1985-2003 годы понижение отметок дна в разных частях русла достигало от 5 до 60 см. Вниз по течению величина понижения дна убывает. Сравнение глубин, приведенных к проектному уровню (80 см от «0» графика г.п. Новосибирск), показывает, что понижение дна на участке длиной 30 км ниже плотины составило в среднем 1,6 м. Понижение дна у плотины происходило неравномерно: вначале скорость равнялась 10-12 см в год, затем постепенно сокращалась до 4 см в год и менее. Так, в 1985-2004 годах дно понизилось лишь на 16 см. Средняя меженная глубина к настоящему времени составляет 3,5 м. Неравномерность понижения дна в известной мере была обусловлена добычей песка и гравия, вследствие чего искусственно увеличивались и глубина, и площадь поперечного сечения. Отсутствие понижения дна в последние 20-30 лет связано с тем, что аллювий полностью смывает, и поток контактирует с коренными скальными и щебнистыми грунтами.

До создания водохранилища минимальные суточные уровни за период открытого русла на г.п. Новосибирск незначительно росли, что отражало тенденцию аккумуляции наносов. После перекрытия реки уровни воды начали интенсивно понижаться, при этом у плотины данный процесс был таким же неравномерным, как и понижение

дна, однако на г.п. Новосибирск понижение уровней началось на 3 года позднее и было более равномерным.

В обоих случаях многолетний ход уровней в целом подчиняется экспоненциальной зависимости (рис. 1). Если в 1957-1962 годах скорость понижения уровня в нижнем бьефе достигала 10 см в год, а в 1973-1997 годах – 3 см в год, то с 1997 г. по настоящее время она мало заметна (около 1 см).

Полное уменьшение уровня воды при расходе 1300 м³/с на г.п. Нижний бьеф достигло на данный момент 186-188 см, на г.п. Новосибирск при минимальных расходах (в условиях регулирования – около 800 м³/с) – 150-170 см. Понижение проектного (при расходе 1300 м³/с) и минимального уровней осуществлялось параллельно и с 1985 г. составило 0,5-0,6 м, что вероятно, обусловлено в том числе (помимо размывов русла) сокращением водности межени в условиях маловодного периода.

При этом прослеживаются тренды направленных изменений, хотя и слабые: на гидропостах Нижний бьеф и Новосибирск посадку минимального уровня можно оценить в 6-7 см, на г.п. Дубровино (109 км от плотины) – около 20 см. На г.п. Кругликово (170 км от плотины) в последние 20 лет отмечается некоторое повышение минимального уровня (примерно на 10 см), что очевидно, связано с тем, что здесь аккумулируются наносы – продукты размыва русла выше по течению. Можно полагать: на приплотинном 30-километровом участке размывы русла и связанная с ними посадка

ка уровней практически прекратились и проявляются лишь в 100 км от плотины. Стабилизация русла, таким образом, заняла около 50 лет. В настоящее время продолжается медленное понижение уровней на приплотинном участке при неизменности отметок дна – следствие размывов и посадки уровней ниже по течению.

Развитие процесса трансформации русла контролируется особенностями геологического строения русла ниже плотины, а именно близким к поверхности дна залеганием коренных пород – гранитов и крупнообломочных продуктов их выветривания. В результате эрозии на приплотинном участке реки, когда песчаный аллювий был смыт и коренные породы обнажились на дне, дальнейший его размыв прекратился. Частично песчано-гравийный аллювий был безвозвратно удален в ходе русловой добычи. За 20 лет на приплотинном участке было извлечено не менее 42 млн. м³ песчано-гравийного материала (ПГМ).

Размыв русла сопровождался увеличением крупности наносов, особенно на приплотинном участке. В естественных условиях средний диаметр частиц был равен 0,4-0,5 мм, к началу 2000-х годов между плотиной и г.Новосибирск он достиг 3-7 мм, местами поток стал контактировать с коренными породами, песчаные отложения сохранились только в периферийных частях русла, где отлагались продукты размыва русла. Ниже г.Новосибирск крупность наносов быстро убывает, а затем на протяжении 80 км остается практически постоянной, но в 2-3 раза превышает исходную, составляя, например в районе п.Дубровино, 0,7-0,8 мм. Это связано с тем, что ниже города сплошного распространения коренных пород не наблюдается, но часто встречаются аллювиальные песчано-галечные отложения. На увеличение крупности наносов значительное влияние оказало выполнявшееся здесь землечерпание, хотя на данный момент его влияние сократилось. При разработке прорезей вскрываются залегающие в нижних горизонтах аллювия слои галечников гравия и крупных песков.

Искусственное регулирование стока Оби и развитие глубинной эрозии существенно изменили состав донных отложений. На приплотинном участке уже в первые годы после ввода в эксплуатацию гидроузла имел место почти полный смыв аллювия и обнажение подстилающих его коренных пород и базальтовых галечников. Аллювий, представленный песками различной крупности, сохранился лишь в периферийных частях русла возле пойменных берегов, а также в боковых рукавах. Песчано-гравийные отложения имеются также там, где в русло поступает достаточное количество материала, обусловленное размывом берегов, а морфология русла (изгиб и разветвление на рукава) благоприятствует образованию перекатов.

Результатом трансформации уровней стало уменьшение уклона водной поверхности на протяженном участке реки. Однодневные связи уровней при одном и том же расходе воды были выполнены в 1966, 1987, 2004 и 2021 годах. Первая связь отражает условия, близкие к естественным, так как произведена спустя 5-6 лет после перекрытия реки плотиной. Средний уклон составлял в межень 0,083 ‰, были выявлены незначительные неровности профиля, обусловленные выходами скальных и грубообломочных грунтов, а также выправительными работами. Аналогичен уклон между плотиной и г.п. Дубровино (110 км от плотины) в настоящее время.

Спустя 20 лет обнаружилось значительное уменьшение уклона на участке длиной около 60 км от плотины – 0,078 ‰, а еще через 5 лет изменение оказалось незначительным – до 0,071 ‰. На данный момент уклон между плотиной и г.п. Новосибирск остался прежним, понижение уровней из-за глубинной эрозии закончилось. На нижележащем участке средний уклон несколько уменьшился, что связано с реализацией крупных проектов по выправлению русла. Так, уклон между Орско-Борским и Нижн. Дубровинским перекатами (где выполняются самые масштабные работы) составляет 0,069 ‰, что на 35% меньше среднего

значения на участке русла. Наряду с размывами русла это приводит к изменениям и искривлениям трассы судового хода, к нарушениям устойчивости переходов через реку; создает затруднения для эксплуатации береговых объектов, подходов к причалам, коммуникаций и т.д.

Особенно негативное воздействие на реку и водный путь оказал процесс освоения русловых карьеров песка и щебня. Начатый в 1970-е годы сначала в черте города, а затем и ниже него, он заметно усилил посадку уровней в нижнем бьефе гидроузла и стал негативно влиять на состояние не только водного пути, но и эксплуатацию объектов водного хозяйства. Разработка русловых карьеров, по существу создание искусственных углублений русла, само по себе вызывающее посадку уровней, сопровождалось врезанием реки выше и ниже каждого карьера и, как следствие, явилось фактором трансформации русла в целом. После проведения специальных исследований, выявивших отрицательные (в том числе для экологии) последствия добычи ресурсов, она была запрещена в пределах черты города и разрешена только в 100 км ниже по течению при условии реализации компенсационных мероприятий (КМ).

В последующие 30 лет разработка карьеров активизировалась начиная с 734 км (по судовому ходу), то есть в 50 км выше утвержденной местными властями верхней границы обозначенной зоны. При этом разрешение на добычу ресурсов в ряде случаев выдавалось по результатам специальных изысканий и модельных расчетов и предусматривало обязательное выполнение КМ (перекрытие заходов в рукава, где действуют карьеры, и проток между островами-дамбами в соответствии с инструкциями и руководствами), обеспечивающих посадку уровней в пределах экологически допустимой величины (до 10 см).

Однако, несмотря на действующие нормы, почти на всех карьерах деятельность ведется с нарушением или серьезным отклонением от прописанных в проектах КМ. В итоге это привело к переформированию

КСТАТИ

Особенно негативное воздействие на реку и водный путь оказал процесс освоения русловых карьеров песка и щебня.

русла, перераспределению расходов воды в несудоходные рукава, образованию в судоходных рукавах побочной и новых перекатов, снижению на них глубин ниже критических, которые вновь сделали ВП очень сложным для нормального судоходства, негативно отразились на обеспечении гарантированных габаритов.

В настоящее время в пределах 70-километрового участка реки функционируют следующие друг за другом месторождения строительного песка и ПГМ: «Остров Песчаный» (734,2-739 км, объем годовой добычи согласно проекту – 500 тыс. м³), «Чаус-2» (746,4-747,7 км, 150 тыс. м³), «Чаус» (752-753 км, 100 тыс. м³), «Остров Казачий» (752,3-754,1 км, 200 тыс. м³), «Калугинское» (756-757,5 км, 200 тыс. м³), «Остров Абрашкин» (759-760 км, 50 тыс. м³), «Орское» (761-762,5 км, 200 тыс. м³), «Серебряковское» (761,5-772,5 км, 200 тыс. м³). Схема их размещения свидетельствует о том, что они являются карьерами массового расположения, разработка которых в наибольшей мере негативно сказывается на русловом и уровневом режимах реки [4, 5].

Месторождение «Почтовское» (763,2-767,9 км) будучи полностью отработанным сейчас не задействовано, но его эксплуатация в правом несудоходном рукаве – Сергеевской протоке на полную длину рукава обернулась самыми тяжелыми последствиями для ВП. Было нарушено одно из главных правил использования карьера, которое полностью игнорировалось несмотря на неоднократные замечания. В итоге произошло разрушение перекрывавшей заход в рукав дамбы – тот редкий случай, когда таковая была возведена, но будучи уничтоженной по вине добывающей организации – Новосибирского речного порта (разработка карьера была доведена вплотную к сооружению, хотя по проекту его верхняя кромка должна была быть в 300 м от него), не ремонтировалась и не восстанавливалась. Вследствие этого водность рукава стала преобладающей (59% общего расхода воды в реке уже 10 лет назад, сейчас, судя по съемкам русла, – намного больше), тогда как в судоходном рукаве она снизилась до 41% и меньше.

Таким образом, глубокий судоходный левый рукав трансформировался в перекатный участок с несколькими лимитирующими по

глубине перекатами и следующими друг за другом изгибами фарватера (рис. 2). В навигацию 2021 г. глубина на перекатах в межень снижалась до 1,1 м, что на 1 м ниже гарантированной. С учетом данного обстоятельства единственный вариант нормализации обстановки – перевод судового хода в правый рукав. Однако этому препятствуют две баржи (затопленные на заходе в рукав якобы для предотвращения его развития), и перенос трассы возможен только после их подъема.

Возникшие переформирования сопровождаются негативными деформациями русла и ниже по течению, вызывая перераспределение расходов воды в пользу несудоходных рукавов, которые согласно ранее проведенным исследованиям [6], являются непригодными или очень сложными для расположения в них судового хода и возможностей поддержания гарантированных габаритов.

Выполненные в 1970-е годы работы в Почтовском узле являются ярким примером применения для создания устойчивой трассы судового хода правила «восьмерки», обоснованного еще Н.И. Маккавеевым [7]. Действительно, на протяжении последующих нескольких десятилетий этот ранее очень затруднительный участок был выведен из числа лимитирующих, и на

нем проводилось только эксплуатационное землечерпание в небольших объемах.

Суммарный объем добычи (около 1,8-1,9 млн. м³) ПГМ превышает сток влекомых наносов на р.Обь даже в естественных условиях (до сооружения Новосибирского гидроузла), а с 60-х годов XX столетия – на порядки величин [8], что при отсутствии ограждающих карьеры дамб (или их разрушении) делает массовую разработку карьеров в таком количестве экологически недопустимой (тем более при ухудшении условий судоходства).

В результате массовая добыча ресурсов на участке реки длиной около 70 км без компенсирующих или нейтрализующих негативные последствия сооружений сопровождается резким ухудшением навигационной обстановки, что по существу, с учетом снижения объемов путевых работ за последние годы, устраняет весь положительный эффект от дноуглубления и выправления русла, достигнутый на реке в 1960-80-е годы.

В черте г.Новосибирск существуют многочисленные строения, возведенные по берегам (либо в прибрежной зоне) нередко без согласований или без привлечения специалистов по русловым процессам (при игнорировании их мнения). Эти

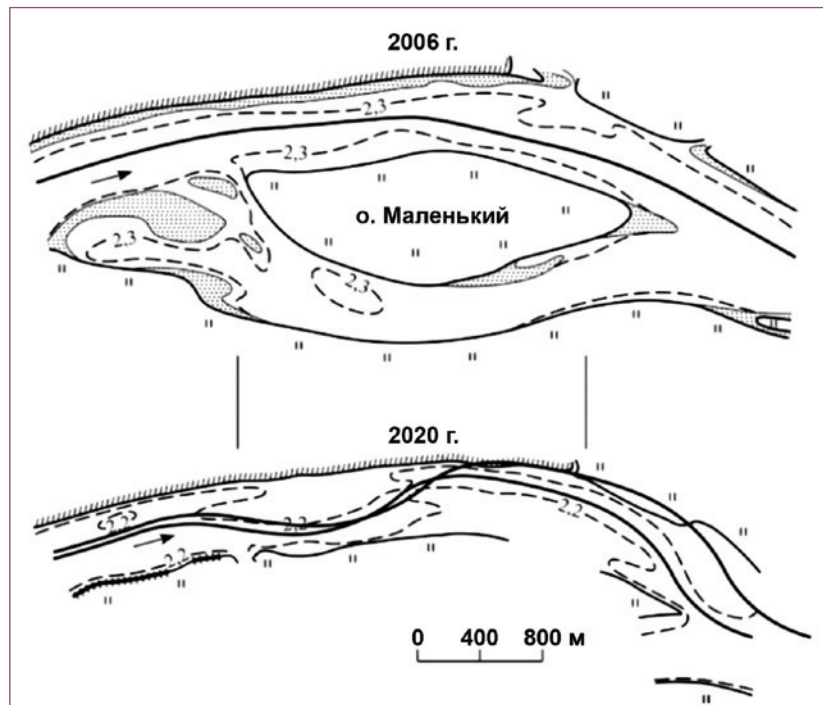


Рис. 2. Трансформация левого судоходного рукава в Почтовском разветвлении из-за разработки карьера в правом рукаве

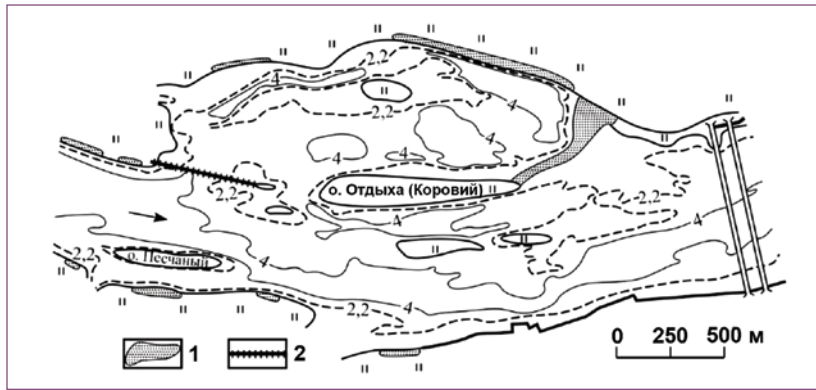


Рис. 3. Состояние русла у г.Новосибирск вследствие разработки карьеров в левом рукаве у о.Отдых: 1 – временная дамба; 2 – рекондуемая к возведению дамба

сооружения часто создают аварийную ситуацию не только на трассе судового хода, но и на водозаборах, мостовых и подводных переходах, на береговых инженерных объектах.

Негативное влияние на состояние русла в настоящее время оказывают как некоторые строения, так и последствия мероприятий, реализованных еще в 1970-80-е годы. Наибольший вред нанес карьер в левом несудоходном рукаве за о.Отдыха. Его эксплуатация привела к равномерному разделению потока на участке реки, создав затруднения по трассе судового хода (рис. 3) и вызвав размыв русла у опор непосредственно ниже расположенных мостовых переходов.

Для улучшения состояния ВП и снижения отрицательного воз-

действия карьера (из-за близости к гидроузлу он не заносится) рукав на заходе был перекрыт в 1970-е годы дамбой, но сейчас она почти уже разрушена. Однако в 2019 г., преследуя другие цели, рукав был перекрыт снизу, при этом в перспективе временное земляное сооружение должно быть убрано. Кроме того, в 2019 г. постановлением правительства Новосибирской области перечень участков недр, где разрешена добыча ПГМ, был дополнен карьером «Арена», расположенном в левом несудоходном рукаве за о.Отдыха с годовой выемкой грунта 453 тыс. м³. Разработку месторождения эксперты считают недопустимой, но даже вне зависимости от принятого решения, левый рукав необходимо будет перекрыть дамбой для улучшения усло-



вий судоходства и предотвращения вероятности подмыва опор моста ниже по течению.

Результатом хаотичного (за исключением путевых работ и возведения некоторых объектов и мостов) осуществления различных строительных мероприятий по берегам и в прибрежной зоне реки в пределах городской черты является практически полная утрата рекой ее естественного облика на участке от захода в нижний подходной канал Новосибирского шлюза и почти до Северного моста: река, по берегам которой располагается столица Сибири, сейчас здесь имеет, кроме отдельных фрагментов, крайне непривлекательный вид (см. снимок со спутника).

Мостовые переходы через Обь (а их в Новосибирске 7, и еще один сооружается) также представляют собой одно из важнейших техногенных воздействий на русло. Они, в том числе созданный еще до Революции 1917 г. железнодорожный мост, не вызывают негативных явлений в состоянии ВП, но сами испытывают нежелательные воздействия из-за разработки русловых карьеров и других бессистемно возведенных объектов на реке.

Исключение составляет Северный мост по федеральной трассе «Байкал», для которого, с точки зрения русловых процессов, выбор створа перехода оказался крайне неудачным. Отрицательное заключение специалистов на уровне экспертизы проекта не было принято во внимание, что уже проявляется в необходимости систематически проводить на перекате и возле него дноуглубление, чтобы обеспечить гарантированные габариты пути и не допустить возникновения аварийной ситуации на самом мостовом переходе (рис. 4).

Таким образом, по причине неупорядоченного, бессистемного техногенного воздействия на реку в пределах Новосибирской агломерации (карьеры ПГМ, в первую очередь береговые и другие сооружения) возникли серьезные затруднения в эксплуатации ВП и

КСТАТИ

Массовая добыча ресурсов на участке реки длиной около 70 км без компенсирующих негативные последствия сооружений сопровождается резким ухудшением навигационной обстановки.

обеспечении нормальных условий судоходства.

Для улучшения ситуации в нижнем бьефе Новосибирского гидроузла необходимо провести научное исследование участка от гидроузла до п.Ташары. Цели – выявление произошедших за последние 30 лет переформирований русла, разработка прогнозных оценок русловых деформаций (на срок до 50 лет) и научное обоснование рекомендаций по восстановлению ВП на Оби до состояния как в 1970-80-х годах. Это в свою очередь позволит рассмотреть вопросы дальнейшего его совершенствования и повышение роли как элемента транспортной системы Сибири.

По окончании исследования надлежит организовать регулярный мониторинг параметров русла для оперативного принятия мер по предотвращению негативных изменений, в том числе при техногенных воздействиях на реку. При этом важно помнить, что ВП – единственный водопользователь, который в силу своих особенностей зависит от русловых процессов на всем протяжении реки; а путевые работы, в том числе дноуглубление и выправление, проводятся в соответствии с русловым режимом, что обеспечивает гидротехническую и гидроэкологическую безопасность.

С учетом нынешних условий эксплуатации ВП на р.Обь от Новосибирского гидроузла до устья р.Томь рационально разделить на два участка:

1. Новосибирский гидроузел – с. Скала.

Характеризуется большой насыщенностью объектов, расположенных в русле и по берегам реки. Естественные опасные проявления русловых процессов (размывы берегов, обмеление водозаборов и акваторий портов, подмыв и захламление водовыпусков) сопровождаются антропогенно обусловленными факторами (боковая и глубинная эрозия, посадка уровней воды). С другой стороны, размывы берегов и другие виды естественных деформаций влияют на жизнь Новосибирска, затрудняя эксплуатацию различных сооружений. Город с

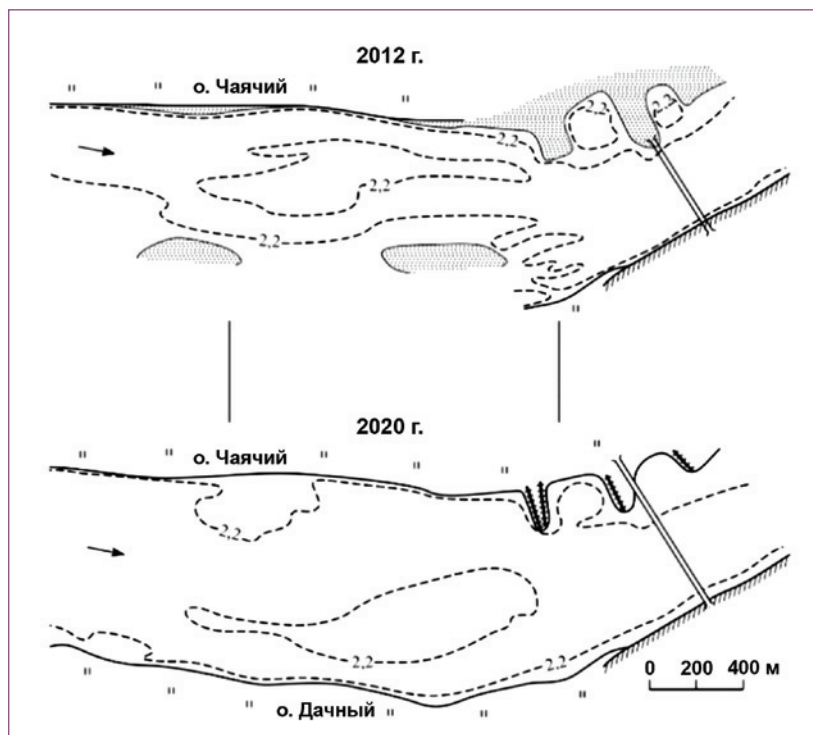


Рис. 4. Переформирования русла у Северного моста (Мочищенский перекат)

его коммунальным хозяйством, промышленными предприятиями, приречными рекреационными зонами и другими объектами обуславливает необходимость стабилизации русла, которое учитывало бы не только потребность ВП, но и необходимость защиты берегов от размывов, функционирования водозаборов и водовыпусков.

2. с.Скала – устье р.Томь.

По нему проходит основной поток транзитных грузов с доставкой грузополучателям в северных районах Томской, Тюменской областей и Ханты-Мансийского автономного округа. Здесь требуется комплексный подход для восстановления судоходной трассы для повышения ее пропускной способности и повышения роли как элемента транспортной системы Сибири.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Нижний бьеф Новосибирской ГЭС в прошлом, настоящем и будущем (опыт исследования формирования природно-техногенной

системы / Беркович К.М., Виноградова Н.Н., Завадский А.С., Рулева С.Н., Сурков В.В., Чалов Р.С. // Эрозия почв и русловые процессы. 2008. – Вып. 16. – с.132-147. 2. Русловый режим средней Оби. – М.: Деп. ВИНТИ. 1969, № 1250-69. – 145 с. 3. Внедрение результатов исследований / Плескевич Е.М., Чалов Р.С. // Речной транспорт.1987. – № 8. – с.40-41. 4. Беркович К.М. Русловые процессы и русловые карьеры. – М.: МГУ, 2005. – 100 с. 5. Гладков Г.Л., Журавлев Ж.В., Соколова Ю.П. Оценка воздействия на окружающую среду инженерных мероприятий на судоходных реках. – СПб.: Изд-во А. Кардакова, 2005. – 241 с. 6. Чалов Р.С., Лю Шугуан, Алексеевский Н.И. Сток наносов и русловые процессы на больших реках России и Китая. – М.: МГУ, 2000. – 212 с. 7. Проектирование судовых ходов на сибирских реках (Тр. ЦНИИЭРТ. Вып. 36). – М.: Транспорт, 1904. – 263 с. 8. Русловые процессы и водные пути на реках Обского бассейна. – Новосибирск: РИПЭЛ плюс, 2001. – 300 с. 9. Барышников Н.Б., Чалов Р.С., Чернов А.В. Антропогенное воздействие на русловые процессы. – Л.: Изд-во ЛГМИ, 1990. – 190 с. 10. Беркович К.М., Чалов Р.С., Чернов А.В. Экологическое русловедение. – М.: ГЕОС, 2000. – 332 с.

КСТАТИ

Для улучшения ситуации в нижнем бьефе Новосибирского гидроузла необходимо провести научное исследование участка от гидроузла до п.Ташары.



Проблемы дефектоскопии в отечественном судоремонте и пути их решения

ТЕМА:

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ДЕФЕКТОСКОПИИ В ОТЕЧЕСТВЕННОМ СУДОРЕМОНТЕ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОСЛЕРЕМОНТНОЙ НАДЕЖНОСТИ СУДОВ КАК СЛОЖНЫХ ПЛАВУЧИХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ; ВАРИАНТЫ ИХ РЕШЕНИЯ

АВТОРЫ:

Е.Г. БУРМИСТРОВ, д.т.н., профессор; Д.А. КРОМОВ, магистрант; А.М. УЛАСОВ, магистрант; кафедра «ПиТПС» ВГУВТ; О.А. ЩЕГОЛЕВА, аспирант, Самарский филиал ВГУВТ

ФОТО:

Из архива редакции

По мере совершенствования технологий постройки и ремонта судов как сложных плавучих технических систем (ТС) особое внимание уделялось повышению надежности их отдельных элементов: корпуса, узлов, агрегатов и т.д.

Известно [1], что критерий «надежность» тесно связан с термином «отказ», под которым обычно понимают событие, заключающееся в нарушении нормальной работы деталей, механизмов, ТС в целом. Укрупненно, применительно к судам, отказы можно разделить на две группы:

1) постепенные – являются, как правило, следствием изнашивания; в процессе их возникновения техническое состояние системы и/или ее элементов для конкретных моментов времени определено либо его достаточно оценить пространственными способами;

2) внезапные [2-5] – результат скачкообразного изменения состояния ТС или отдельных, функционально важных, ее частей; чаще всего обусловлены скрытыми дефектами производства или вовремя невыявленными эксплуатационными недостатками, накапливавшимися постепенными отказами (например, перелом корпуса судна по причине накопившихся износов связей, нарастания напряженно-деформированного состояния и невыполнения (либо принятия неадекватных) мер для их устранения).

С целью предупреждения отказов ТС и их элементов утвержде-

ны регламенты проведения периодического технического освидетельствования (дефектации), основанные на применении более или менее эффективных методов неразрушающего контроля. Благодаря этому выявленные износы и повреждения связей судового корпуса, дефекты деталей, механизмов и систем могут быть своевременно устранены с использованием известных или специально разработанных для конкретного случая технологий ремонта. Кроме того, отдельные элементы могут быть выведены из эксплуатации и заменены новыми, либо за их техническим состоянием может быть установлен перманентный контроль. Такой подход позволяет, если не устранить угрозу отказов полностью, то перевести их из категории «внезапных» в «постепенные».

Ключевая роль в предотвращении отказов и, соответственно, в повышении надежности ТС отводится своевременной и качественной дефектоскопии – совокупности методов контроля состояния материалов (изделий) на предмет отсутствия в них дефектов, недопустимых по условиям работы [6].

При ремонте судна в отношении связей, узлов, деталей можно решить следующие основные задачи [7]:

– визуально обнаружить и изучить процессы изнашивания и разрушения наружных поверхностей в результате трения, эрозии, коррозии и т.п.;

– путем технических измерений выявить отклонения от заданных

чертежом (проектных) размеров и формы;

– с помощью микроструктурного анализа и ряда специальных лабораторных методов (магнитного, ультразвукового, капиллярного, просвечиванием) определить нарушения сплошности и структуры металла (трещины, непровары, раковины, рыхлоты), определить инородные включения;

– с помощью течеискателей или гидравлических и воздушных испытаний проверить плотность соединений.

Один из наиболее корректных вариантов классификации дефектов приведен на рис. 1.

Согласно показанной схеме, по расположению относительно зоны контроля дефекты разделяются на 3 группы: поверхностные, подповерхностные и внутренние. Очевидно, что в судоремонте приходится иметь дело с каждым типом недостатков, поскольку они могут оказаться критическими для надежности ТС (судна) в целом. Однако, частота их возникновения и районы локализации существенно отличаются.

Так, поверхностные дефекты (имеющие раскрытие снаружи связи, узла, детали), включая сквозные трещины, как правило, характерны для связей корпуса и локализуются: от циклических нагрузок – в средней части, виборационных – в районе машинного отделения и в кормовом подзоре.

Недостатки выявляются в 100% случаев при дефектации корпусов судов старше 35 лет, в 70% –

КСТАТИ

Ключевая роль в предотвращении отказов и, соответственно, в повышении надежности ТС отводится своевременной и качественной дефектоскопии.

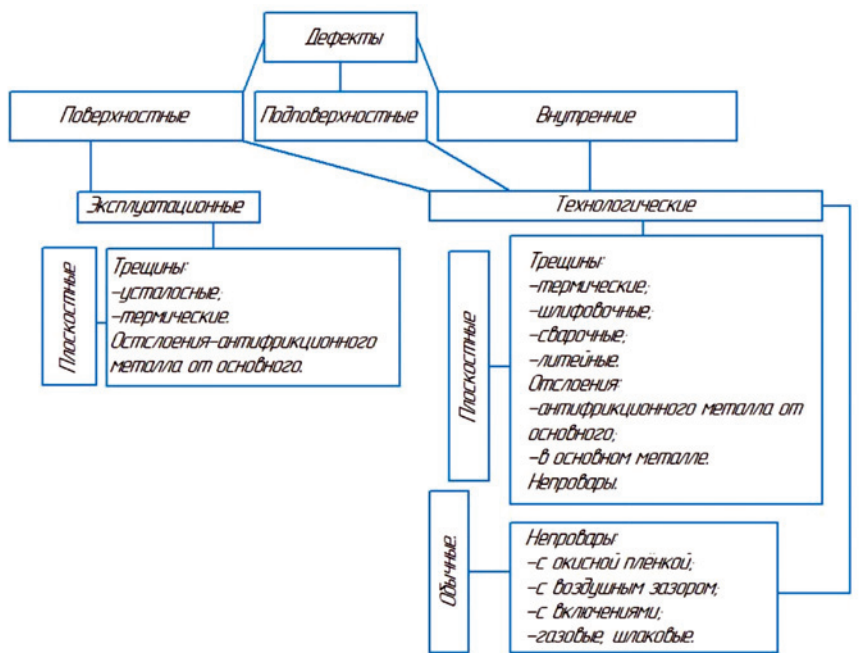


Рис. 1. Классификация дефектов [8, 9]

25-30 лет, в 36% – 15-25 лет (рис. 2). То есть частоту возникновения повреждений рационально аппроксимировать простой гиперболической зависимостью.

Подповерхностные (с глубиной залегания до 2 мм) и внутренние дефекты чаще встречаются на деталях судовых механизмов и элементах движительно-рулевого комплекса (гребные, промежуточные и упорные валы, баллеры рулей и направляющих насадок, опорные и упорные подшипники, участки примыкания лопастей гребных винтов к ступице). Закономерность их появления зна-

чительно сложнее, чем в случае с корпусами судов, поскольку в основном определяется случайными факторами, зависящими от характера и режима рабочих нагрузок.

Таким образом, полезным представляется разделение дефектов на технологические и эксплуатационные. Поскольку первые появляются в процессе создания ТС, они менее интересны с точки зрения судоремонта, но они обычно способствуют возникновению и развитию по крайней мере части вторых, с которыми приходится работать специалистам.

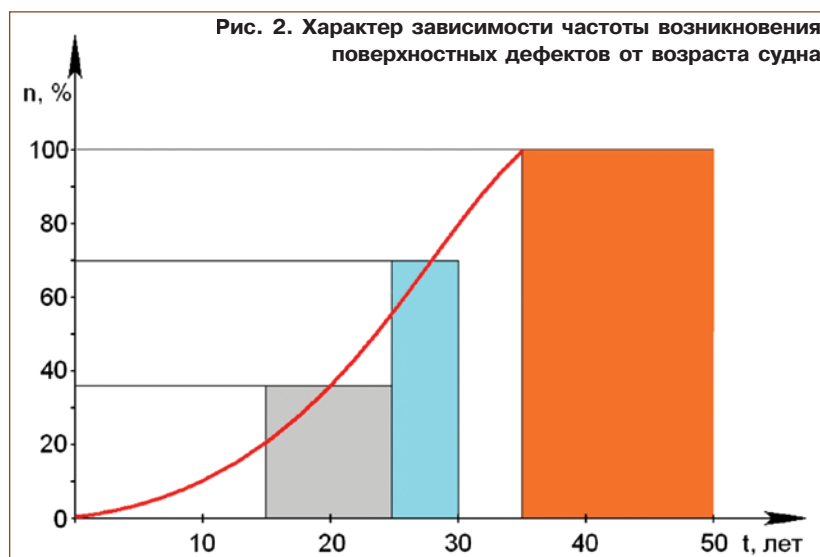


Рис. 2. Характер зависимости частоты возникновения поверхностных дефектов от возраста судна

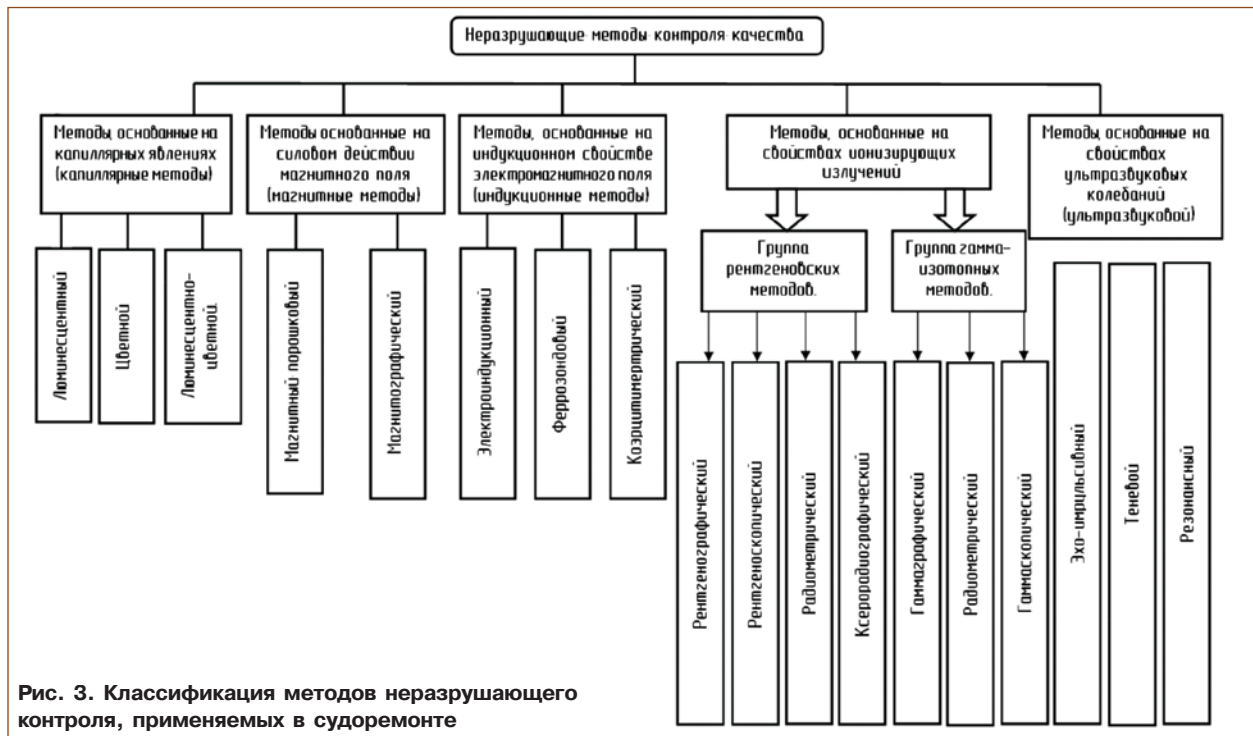
Среди эксплуатационных недостатков встречаются как объемные (их габариты по трем взаимно перпендикулярным осям соизмеримы – газовые и шлаковые включения, некоторые виды непроваров), так и плоскостные (один из размеров значительно меньше двух других – трещины, отслоения, наплывы и т.д.); принципиальные подходы к их выявлению существенно различаются.

В отличие от технологических дефектов, для эксплуатационных гораздо актуальнее применение неразрушающих методов выявления, которые могут использоваться не только в дефектоскопии, но и в структуроскопии и толщинометрии. Однако, на данный момент ни один из них не является универсальным, каждый предназначен для решения конкретных задач.

Классификация некоторых методов неразрушающего контроля, представляющих интерес для судоремонта, отражена на рис. 3. Здесь группа объединяет физическое явление или свойство, положенное в основу работы дефектоскопа или технологии контроля, а каждый метод различается по принципу выявления недостатков или структурного состояния металла. Среди перечисленных подходов самыми распространенными являются капиллярный, магнитно-порошковый, рентгено- и гаммаграфические и ультразвуковые методы; их особенности описаны в таблице.

Упомянутые методы дефектоскопии обладают неодинаковой чувствительностью к обнаружению недостатков. Для сравнения различных принципов контроля, с помощью которых выявляют однотипные повреждения, и сопоставления разных дефектоскопов, работающих на основе одного метода, введены [9] понятия чувствительности: реальной (определяется минимальными размерами естественных дефектов, выявляемых во время контроля), предельной (наименьшие параметры идеального искусственного повреждения в образце контролируемой детали или сварного шва), условной (выявляемость искусственных дефектов, сделанных в эталоне заданной конструкции из обусловленного материала).

В каждом из принципов контроля используется один или два понятия «чувствительности»; например, в капиллярном и магнитно-порошковом методах при выявлении поверхностных повреждений оперируют термином «реальной чувствительности». Она характери-



зается шириной, глубиной и длиной минимального выявленного дефекта. Его размеры измеряются при микроскопическом исследовании. При рентгено- и гаммаграфировании применяется «предельная чувствительность», которая оценивается в каждом снимке с помощью дефектометров. В ультразвуковых методах используют «предельную чувствительность» (определяется с помощью тест-образцов) и «условную» (по специальному эталону) [9].

Проблемы, так или иначе связанные с чувствительностью применяемых методов неразрушающего контроля, являются весьма острыми для современной судоремонтной дефектоскопии и толщинометрии. На этом акцентировалось внимание, в частности в трудах [10, 11]. Лишь возрастающее количество переломов корпусов судов, поломок гребных валов и т.п. обусловлено именно такими причинами. По итогам расследования подобных ситуаций обычно выясняется, что оценка технического состояния объекта до аварии стандартными методами диагностики все-таки проводилась. Отсюда следует вывод: на большинстве судоремонтных предприятий сегодня используются устаревшие технологии контроля.

Целесообразно обозначить следующие проблемы:

1. В настоящее время сварные швы судовых корпусных конструк-

ций, участки валов (восстановленные наплавкой, напылением или металлизацией) проверяются исключительно вручную. При этом операция, с учетом ее высокой трудоемкости, обычно проводится выборочно. Кроме того, как правило, не ведется регистрация результатов контроля и отсутствует подтверждающий его документ.

2. Около 75% всех дефектов, обнаруживаемых средствами диагностики, фиксируются в наиболее нагружаемой при эксплуатации части корпусов судов и 100% – в наиболее нагружаемых зонах валопроводов.

На большинстве судоремонтных предприятий последние 15-20 лет для выявления недостатков применяют преимущественно ультразвуковые методы. При этом, как правило, не учитываются погодные условия на момент процедуры и в месте ее проведения. Тогда как многими специалистами неоднократно констатировался факт неудовлетворительности получаемых результатов при anomalно низких температурах (ниже -30 С). А ведь именно в таких обстоятельствах часто осуществляется дефектация корпусов, систем, других элементов судов. Это относится главным образом ко флоту внутреннего и смешанного плавания, поскольку окончание навигации для них в северо-западном и центральном районах России, в Сибири и на Дальнем

Востоке обычно совпадает с началом ледостава, а слипование или докование тоннажа приходится на декабрь-январь, то есть на период крепких морозов. Несмотря на то что задача УЗ-контроля для подобных условий чрезвычайно актуальна, на сегодняшний день она пока не решена. Низкие температуры по-прежнему являются факторами риска с точки зрения качественной диагностики и, соответственно, обеспечения надежности судов и их элементов.

3. В применяемых при судоремонте методах дефектации практически отсутствуют средства оценки действительных размеров и конфигурации выявляемых подповерхностных и внутренних недостатков. Между тем, знание реальных параметров дефектов позволяет прогнозировать продолжительность возможной эксплуатации дефектного элемента для планирования сроков его замены и минимизации влияния на перевозку грузов при отказе элемента в навигации.

4. Поломки валов и переломы корпусов судов из-за повреждений коррозионно-усталостного происхождения являются одной из главных проблем эксплуатации судов. Современные средства дефектоскопии в большинстве случаев способны выявлять лишь поперечно ориентированные трещины размерами более 5-7 мм и расположенные в проекции сварного шва или наплав-

Характеристика основных неразрушающих методов выявления дефектов

		Капиллярные	Магнитно-порошковый	Рентгено-графические	Гаммаграфические	Ультразвуковые
Характеристики методов	Определяемые дефекты	Дефекты, имеющие выход на поверхность деталей: трещины, поры	Поверхностные и подповерхностные, плоскостные и объемные дефекты: трещины, волосовины, включения	Внутренние и подповерхностные дефекты: поры, включения, непровары и т.д. Некоторые структурные изменения: ликвации, крупнозернистость	Внутренние и подповерхностные объемные дефекты: поры, включения, непровары и т. д.	Внутренние и подповерхностные, плоскостные и объемные дефекты: трещины, непровары, отсутствие сцепления, отслоения и т. д.
	Область применения	Детали из любых металлов с неабсорбирующей поверхностью	Детали из ферромагнитных металлов	Детали из любых металлов: литье, сварные швы, вкладыши подшипников быстроходных дизелей	Детали из любых металлов: литье, сварные швы	Детали из любых металлов: сварные швы, прокат, поковки, подшипники тихоходных дизелей, корпуса судов
	Преимущества	Низкая стоимость. Индикаторные следы дефектов видимы невооруженным глазом. Легкость расшифровки результатов контроля. Имеются стационарные и переносные дефектоскопы	Производительный и относительно дешевый метод. Имеются стационарные и переносные дефектоскопы. Легкость расшифровки результатов контроля и восприятия их оператором	Регулируемый уровень энергии и интенсивности излучения. Высокая чувствительность снимков. Легкость расшифровки результатов контроля	Портативность оборудования. Возможность осуществления панорамного просвечивания. Возможность размещения источника внутри контролируемого изделия. Легкость расшифровки результатов контроля	Чувствительность к тонким трещинам и непроварам. Портативность оборудования. Возможность автоматизации контроля
	Недостатки	Поверхностные пленки (слой краски, окалина, масла, грязи), затрудняющие выявление дефекта. После контроля детали должны быть очищены	Трудность создания поля равной напряженности по всей поверхности сложных деталей, невозможность обеспечения полного размагничивания деталей. Толстый слой краски или окалины мешает контролю. После контроля детали должны быть очищены	Высокая стоимость оборудования. Радиационная опасность. Невозможность выявления тонких трещин, непроваров и отслоений. Трудность просвечивания на стапеле	Радиационная опасность. Распад источников. Невозможность выявления тонких трещин и непроваров. Пониженная чувствительность. Необходимость применения различных источников для разных толщин металлов	Трудность контроля сложных и тонкостенных изделий. Необходимость использования эталонов или тест-образцов. Трудность расшифровки результатов контроля

ленного участка. Сегодня отсутствуют технологии и средства, позволяющие гарантированно обнаруживать недостатки на периферии зон термического влияния, в металле основы, под наплавленными (и напыленными) слоями, между основой и наплавленным слоем и т.д. По этим причинам значительный процент дефектов не выявляется, что в 50% случаев приводит к отказам тех или иных элементов бортовых механизмов и систем.

5. С учетом, как правило, сжатых сроков судоремонта, ограниченных межсезоньем и, соответственно, коротким периодом заводской дефектации, следующей исключительно важной проблемой представляется повышение скорости дефектации, производительности средств контроля и автоматизации обработки результатов.

Отмеченные проблемы не являются новыми [10, 11] для профессионального сообщества. По

некоторым из них поиск решений ведется достаточно активно. По другим надлежащие «технические задания» еще даже не сформулированы. Тем не менее, нынешний уровень развития науки, опыт смежных отраслей транспорта и машиностроения, изложенный например в [12], позволяют выработать некоторые принципиальные направления улучшения положения дел.

1. В реальных условиях дефектации судов и их элементов не всегда

возможно обеспечить стабильный ввод УЗ-колебаний через защитное покрытие, слой ржавчины, на изношенных участках триботехнических сопряжений валов и т.д. Значит, требуется поиск новых надежных схем прозвучивания, в том числе с сокращением или исключением применения контактирующей жидкости. Необходимо также создать дефектоскопы, позволяющие комплексно осуществлять контроль зоны ремонтной сварки (наплавки, напыления): УЗ-дефектоскопия по всему сечению шва и зоны термического влияния, измерение геометрических характеристик шва и механических характеристик металла шва (твердости, вязкости, хрупкости и др.). Это же относится и к участкам, восстановленным наплавкой или напылением. Нужна подготовка специальной инструкции по приемочному УЗ-контролю ремонтной сварки/наплавки с обязательной регистрацией сигналов на повышенной чувствительности (на уровне структурных шумов). Возможно, целесообразно учесть зарубежный опыт по разработке организационных мер в отношении повышения качества дефектации отдельных элементов в частности и диагностики судна как ТС в целом.

2. Необходимо совершенствовать конструкцию и электронную составляющую УЗ-дефектоскопов и УЗ-толщиномеров, улучшая их «морозостойчивость»: повышать надежность разъемов, для изоляции проводов и кабелей УЗ-преобразователей применять материалы, исключающие их ломкость при отрицательных температурах и т.п. Важно также продолжить совершенствование магнитодинамических методов неразрушающего контроля. Потенциал магнитного метода на сегодняшний день полностью не реализован. Исследования группы проф. А. Маркова [12] по решению аналогичной задачи на железнодорожном транспорте показывают, что при оптимизации только параметров системы намагничивания можно повысить глубину обнаружения трещин в 2 раза, по сравнению с традиционными П-образными системами. Высокая воспроизводимость сигналов магнитного канала позволяет автоматизированно выделять многие конструктивные элементы дефектуемого элемента с достаточной для практики достоверностью. Исследования, выполненные специалистами под руководством А. Маркова, показали, что наряду с надежным обнаружением дефектов магнитодинамические

методы позволяют добиваться эффективности при контроле сварных соединений с составлением «паспорта» соединения; мониторинга температурного изменения нагрузки на элемент (например, гребной вал) при установке специальных феррозондовых меток и т.п. Эти подходы могут также применяться для локализации участков валов, поверхность которых повреждена микротрещинами. Кроме того, их преимуществом является высокая скорость процедуры [13].

3. Часто поверхностные и подповерхностные дефекты не представляют непосредственной угрозы. То есть, не каждый обнаруженный недостаток является потенциально опасным и требует немедленного изъятия элемента с таким повреждением. Значит, для экономии ресурсов целесообразным представляется выполнение комплекса работ по научному обоснованию остаточного ресурса элементов судовых корпусов и механизмов при наличии в них не критических дефектов. Знание реальных размеров дефектов позволит оценивать продолжительность возможной эксплуатации поврежденного элемента для планирования сроков его замены и минимизации влияния на коммерческую эксплуатацию судна.

4. Необходимо расширять практику применения технологий интеллектуального 3D-сканирования при дефектации элементов триботехнических систем бортовых механизмов. Современные оптические и лазерные 3D-сканеры обеспечивают измерение полного перечня параметров геометрии детали, иногда даже без разборки механизма. Это создаст предпосылки для внедрения двухэтапной технологии дефектации таких элементов: 1) локализация (выделение) проблемных участков по внешним признакам (путем сопоставления сканированного рельефа с проектным); 2) для выделенных участков осуществляется более глубокий контроль на предмет выявления подповерхностных и внутренних дефектов. Такой подход позволит не только качественно описать исследуемую поверхность детали и сформировать для нее ремонтный контур с учетом подповерхностной (внутренней) структуры, а не только поверхностных дефектов, как это часто происходит, но и обоснованно подойти к выбору стратегии действий.

5. С учетом сжатых сроков судоремонта надлежит повышать производительность дефектоскопов и толщиномеров, создавать для них

специальное программное обеспечение. Последнее должно позволять: 1) автоматически формировать документ контроля с передачей информации по нескольким каналам в «электронный паспорт» детали (судна); 2) фиксировать размеры и координаты дефекта в общей системе координат судна (для корпусов – на растяжке наружной обшивки) и в местной системе координат анализируемого элемента с автоматизацией обработки результатов контроля, оценки и прогнозирования предотказного состояния. Также необходим поиск оптимальных условий для оправданного и эффективного применения подобного инструментария.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Варжалетян А.Г. Техническая эффективность и надежность судовых систем управления. – Л.: Судостроение, 1969. – 268 с.
2. Аппроксимирующие распределения вероятностей для анализа и прогнозирования надежности изделий / Л.В. Ефремов // Вестник машиностроения, 1976. – № 8. – с.59-62.
3. Ефремов Л.В. Практика инженерного анализа надежности судовой техники. – Л.: Судостроение, 1980. – 176 с.
4. Проников А.С. Надежность машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 591 с.
5. Шор Я.Б., Ф.И. Кузьмин. Таблицы для анализа и контроля надежности. – М.: Сов. радио, 1968. – 284 с.
6. Российский морской регистр судоходства. Правила классификационных освидетельствований судов. Приложение 2, 2020.
7. ГОСТ 24166-80. Система технического обслуживания и ремонта судов. Ремонт судов. Термины и определения. Дата введения: 01.07.1981.
8. Андреев Н.Т. и др. Ремонт судов (учебник для ВУЗов). – Л.: Судостроение, 1972 г. – 568 с.
9. Брук М.В., Лопырев Н.К. Неразрушающий контроль в судостроении и судоремонте. – Л.: Судостроение, 1973.
10. Особенности прогнозирования износов корпусов судов при планировании объемов судоремонта / Огнева В.В., Бурмистров Е.Г. // Судостроение. 2014. – № 5. – с.46-49.
11. Инновационный подход к организации и планированию судоремонтных работ на специализированных предприятиях и в судостроительных компаниях / Захарова В.В. // Морские интеллектуальные технологии. 2013. – №3. – с.50-54.
12. Актуальные проблемы дефектоскопии рельсов и пути их решения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://radiovionica.ru/activities/sistemy-nerazrushayushchego-kontrolya/articles/files/razrab/st_2016_1.pdf.
13. Дефектоскоп с функцией онлайн определения допустимой нагрузки на участок рельса [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.moluch.ru/archive/158/44462/>.

НАУЧНЫЕ РАБОТЫ / SCIENCE WORKS

44 СГУВТ

Арабьян Л.К., Григорьев Е.А., Мензилова М.Г.

Применение взрыва при ремонте деформаций корпуса судна

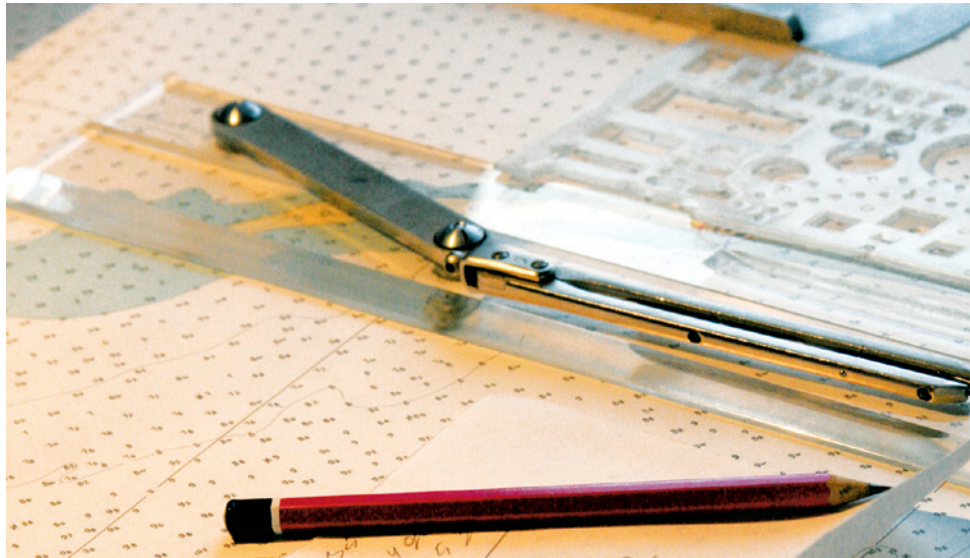
46 СГУВТ

Панов Д.В., Рослякова О.В., Кудряшов А.Ю., Егорова Е.В., Панова А.Н., Шильникова Е.А.

Оценка уровня загрязнения воздуха в мегаполисе (на примере г.Новосибирск) автомобильным и водным транспортом в зависимости от различных факторов

49 СГУВТ

Масленников С.Н., Сеницын М.Г. **Модульный принцип проектирования транспортных систем доставки грузов на реках Сибири**



52 СГУВТ

Пилипенко Т.В., Калашников А.А. **Лабораторные исследования кинематики потока при устройстве дноуглубительной прорези**

55 ВГУВТ

Кочнев Ю.А., Кочнева И.Б., Костерина С.Д.

Применение аддитивных технологий при исследовании взаимодействия судового якоря с грунтом

57 ГУМРФ им.

адм. С.О. Макарова Жуков В.А., Гомбалеvский А.Н. **Сравнительная оценка уровня технического развития судовых дизелей**

63 АННОТАЦИИ

64 ANNOTATIONS

УЧРЕЖДЕНИЕ: Сибирский государственный университет водного транспорта (СГУВТ)

ТЕМА: Применение взрыва при ремонте деформаций корпуса судна

АВТОРЫ: Л.К. АРАБЬЯН, к.т.н, профессор; Е.А. ГРИГОРЬЕВ, к.э.н, доцент; М.Г. МЕНЗИЛОВА, к.т.н., ст. преподаватель

УДК 629.122

Согласно правилам Российского Речного Регистра, при строительстве и ремонте корпуса судна необходимо устранять присутствующие на листовых элементах обшивки (бортов, палуб, переборок и днища) остаточные деформации (ОД). Они возникают вследствие несоблюдения технологии производства, в процессе сварки, а также в ходе эксплуатации флота при неизбежном превышении рабочих нагрузок над расчетными, при причаливании, при погрузке-выгрузке, в случае аварийного происшествия.

Основными параметрами остаточных листовых деформаций корпусных конструкций являются: максимальная стрелка прогиба (f , мм), длина вмятины – размер вмятины по длине судна (L , м), ширина вмятины – размер перпендикулярный длине вмятины (H , м).

Величина повреждения определяется конструкцией судна и эксплуатационными факторами, но обычно укладывается в диапазон: стрелка прогиба вмятины $f=75-100$ мм при длине вмятины $L=800-1200$ мм для наиболее распространенной толщины обшивки 5-8 мм.

Суть современных методов исправления ОД сводится преимущественно к применению различных домкратов (реечных, гидравлических), т.е. к приложению механических усилий и «выдавливанию» соответствующих участков, с технологическими разрезами и последующим их завариванием. Но данная технология энергоемка, требует тяжелого физического труда, малопроизводительна. Поэтому все большее распространение получают так называемые «тепловые» методы, использующие свойства металла, нагреваемого до нужной температуры. По сравнению с «холодным» способом, здесь контур «подсаживается», т.е. деформируется в сторону утолщения материала, и в итоге устраняется изгиб пластины. Последовательно создавая технологические зоны нагрева, можно корректировать повреждение.

Научное обоснование такому принципу дал В.С. Михайлов в своей работе «Основы технологии тепловой правки сварных конструкций» [2] и в авторском свидетельстве «Устройство для правки деформированных листовых конструкций», где описаны режимы и размеры полос для нагрева основных судостроительных материалов и оптимальные расстояния между ними. Ученый сформулировал конкретные рекомендации по соотношению ширины полос нагрева к толщине металла в зависимости от марки стали, а также их длины.

Основопологающим является определение оптимальной температуры нагрева для разупрочнения стали: для ВСтЗсп – 650°C, 09Г2 – 750°C, 10ХСНД – 800°C, ЮЗ – 760°C, АМг5 – 370°C, АМг6 – 370°C, высокопрочной с $\sigma_T=80-100$ кгс/мм² – 870°C.

В качестве источников нагрева применяются газовые горелки (на пропане, бутане, ацетилене), однако в

последнее время чаще задействуются высокочастотные источники.

Примечательно, что «тепловой» способ, как и «холодный», тоже предполагает высокую трудоемкость процесса и ручной труд. Кроме того, управляющий горелкой специалист, непосредственно находящийся в зоне нагрева выправляемого элемента, подвержен вредному воздействию высокой температуры и выделяющихся при сгорании судовой краски газов (формальдегиды, СО, СО₂ и др. вещества).

Таким образом, актуальным представляется альтернативный принцип, в частности на базе энергии высвобождения взрывчатых веществ (ВВ), тем более, что подобные методы в металлообработке и в изготовлении корпусных конструкций используются достаточно давно [1, 2, 3].

В процессе ремонта корпуса несамоходного судна, а именно при устранении ОД бортовой обшивки, тротил был применен в 1979 г. группой инженеров Новосибирского института инженеров водного транспорта (ныне – СГУВТ). Заряды размещались на гребне вмятины внутри корпуса, а с противоположной (наружной) стороны на стропках автокрана подвешивались железобетонные матрицы (ЖМ, плиты). При каждом подрыве, сопровождавшемся значительным шумом (130 дБ), осуществлявший операцию специалист удалялся в безопасное место, что означало снижение производительности. В итоге бригада из трех рабочих за три смены смогла исправить повреждение со стрелкой прогиба $f=60$ мм общей площадью 320 м² [1].

На рис. показана схема правки деформированной бортовой обшивки судна с применением ВВ.

Рассмотрим порядок действий. На поврежденных участках монтируются шпильки отрыва (3), к которым крепятся прижимные фланцы защитно-отражательного конуса (2). Внутри него размещается ударный диск (5), на него кладется заряд (7), создающий непосредственное ударное воздействие на требуемую зону. На конусе оборудуется люк (6) для закладки ВВ.

Сверху конуса устанавливается запорный клапан (8), его назначение таково: в момент взрыва при большом давлении он закрыт, и вся энергия направлена на правку деформированного участка; затем при снижении давления до атмосферного он открывается, и газы направляются в выпускной трубопровод (10), в котором находится глушитель шума активного типа (9), а на выходе – улавливатель пыли и вредных газов (12).

Данное инженерное решение не только позволяет снизить трудоемкость операции, но и минимизировать негативные последствия: глушитель активного типа на выпускном трубопроводе устраняет шум; защитный конус исключает тепловой удар и выброс в воздух вредных веществ от сгорания лакокрасочного покрытия.

Исследования воздействия бризантных ВВ на металлические конструкции показали, что указанные типичные ОД требуют энергии, как минимум, 50 г тротила, что было подтверждено экспериментами [1].

В качестве примера рассматривалось устранение ОД листа бортовой обшивки баржи грузоподъемностью 1500 т. После дефектовки и выявления характерных повреждений проводились необходимые процедуры (снятие рамного и холостого набора, подготовка технологической оснастки, в том числе выставление ЖМ по максимальному гребню вмятины с противоположной стороны корпуса). Все элементы были надежно зафиксированы с помощью растяжек (или электроприхватов).

ЖМ, изготавливаемая по обводам корпуса с наружной стороны в местах предполагаемого ремонта, включает металлическую арматуру с намотанной предварительно растянутой стальной проволокой повышенной прочности [1].

Для рассматриваемой деформации достаточно воздействия примерно 50 г тротила, а вес заряда уточняется опытным путем. Возможна установка «ударника» для повторного взрыва уже перпендикулярно к первоначальному положению. Для безопасности зона взрыва накрывается специальным «колпаком» (защитным конусом) с системой отвода газов (фильтр тонкой очистки) и устранения звука (активный глушитель).

Положительными результатами проведенных исследований была доказана реальная возможность и эффективность правки деформированной обшивки толщиной 5 мм со стрелкой прогиба около $f=60$ мм до нулевых значений с применением 50 г тротила, когда на фронте взрывной волны давление достигает 360 кгс/см^2 [1].

Разумеется, в описанном случае взрывное воздействие должно осуществляться через ударный диск внутри корпуса, закрепленный на четырех приварных болтах с помощью прижимного диска.

Состав оборудования, необходимого для внедрения в производство «взрывного» принципа, таков: специальный предохранительный клапан, монтируемый на выходе из защитного конуса; глушитель активного типа; универсальный очиститель выпускных газов и пыли.

Данный способ требует первоначального определения нужного количества ВВ в зависимости от размеров исправляемого листа (методика вычислений достаточно подробно изложена в [2, 3, 4]), а также выполнения опытного подрыва одиночным или распределенным зарядом. Предварительные прочностные расчеты и эксперименты показали, что 50 г тротила при взрыве в воздушной среде создают давление на фронте взрывной волны 360 кгс/см^2 .

Важно также выполнить следующие условия:

1. Шпильки отрыва должны привариваться по особому шаблону специальным автоматом.

2. Обязательны проверка работоспособности всех элементов установки (рис.), затем дистанционный подрыв и обмер результатов правки с корректировкой величины заряда.

3. Расчетное время подготовки и проведения одного технологического цикла правки должно составлять 35 мин. при соблюдении всех экологических требований и норм.

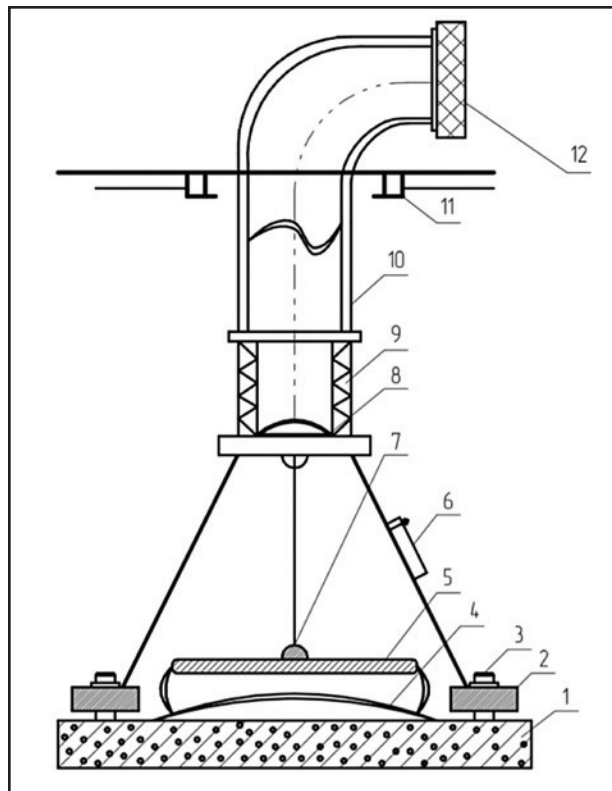


Схема правки деформированной бортовой обшивки судна с применением ВВ: 1 – подводимая ЖМ; 2 – прижимной фланец защитного конуса; 3 – шпилька отрыва (4 шт.); 4 – деформированная бортовая обшивка корпуса судна; 5 – ударный (правящий) диск; 6 – люк для закладки ВВ; 7 – заряд; 8 – запорный клапан выпускного трубопровода; 9 – глушитель шума активного типа от взрыва; 10 – выпускной трубопровод; 11 – люк трюма судна; 12 – улавливатель образующихся при взрыве пыли и вредных газов

4. Перед началом работ необходимо осуществить расчеты прочности на предельное значение заряда ВВ и независимые испытания предельных расчетных значений заряда ВВ, а в процессе эксплуатации строго соблюдать правила техники безопасности.

Резюмируя, отметим, что описанная методика правки взрывом позволяет повысить прочность металла, что доказано многочисленными испытаниями [4];

снизить трудоемкость работ в 2-4 раза (по сравнению с «ударным» и «тепловым» способами); минимизировать вред обслуживающему персоналу и окружающей среде.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

- Арабьян Л.К., Метелкин А.Г., Назаренко А.М. О возможности правки наружной обшивки корпусов судов взрывом. – Новосибирск: Изд-во НИИВТ, 1979. – 99 с.
- Михайлов В.С. Основы технологии правки сварных конструкций. – Л: Судостроение, 1974. – 270 с.
- Степанов В.С., Шавров И.А. Высокоэнергетические импульсные методы обработки металлов – Л: Машиностроение, 1978. – 267 с.
- Степанов В.Г., Навагин Ю.С. Панкратов В.П. Гидровзрывная штамповка элементов судовых конструкций – Л: Судостроение, 1966. – 290 с.

УЧРЕЖДЕНИЕ: Сибирский государственный университет водного транспорта (СГУВТ)

ТЕМА: Оценка уровня загрязнения воздуха в мегаполисе (на примере г.Новосибирск) автомобильным и водным транспортом в зависимости от различных факторов

АВТОРЫ: Д.В. ПАНОВ, доцент, к.т.н., кафедра техносферной безопасности (ТБ); О.В. РОСЛЯКОВА, доцент, к.т.н., кафедра ТБ; А.Ю. КУДРЯШОВ, к.т.н., доцент, декан гидротехнического факультета; Е.В. ЕГОРОВА, аспирант, кафедра электроэнергетических систем и электротехники; А.Н. ПАНОВА, аспирант, кафедра теории корабля, судостроения и технологии материалов (ТКСиТМ); Е.А. ШИЛЬНИКОВА, аспирант, кафедра ТКСиТМ

УДК 629

Транспортная система играет важную роль в экономике нашей страны. Вместе с тем функционирование коммуникаций объективно имеет негативные последствия: ежегодно с отработавшими газами (прежде всего двигателей автомобилей и судов) в атмосферу поступают сотни миллионов тонн вредных веществ, которые ухудшают состояние здоровья населения, отравляют почву и водоемы, наносят серьезный ущерб животному и растительному миру.

С развитием городов все большую значимость приобретает

вопрос быстрого и качественного обслуживания граждан, но при условии охраны окружающей среды.

Для изучения негативного воздействия транспортной системы на экологию, и соответственно, для принятия мер по минимизации вреда необходимо осуществлять сбор и анализ данных о состоянии воздуха.

В работах [1-4] авторами были выявлены закономерности изменения уровня оксида углерода в воздухе над г.Новосибирск вследствие эксплуатации транспортных средств, в зависимости от морфо-

метрических характеристик рельефа и влияния ветрового режима, а также отмечена актуальность и обоснована необходимость решения проблемы загрязнения атмосферы в мегаполисе.

Речной флот и автотранспорт справедливо причисляют к категории наиболее опасных источников загрязнения воздуха. Более 300 вредных химических соединений, попадающих в окружающую среду не только с выхлопами, но и с испарениями из топливных систем, при заправке, оседают в нижнем слое атмосферы и оказываются непосредственно в зоне дыхания человека. При этом концентрация опасных веществ зависит от трафика, рельефа и урбанизированности местности (неровность земной поверхности способствует переносу и аккумуляции ядовитых примесей), метеоусловий [4].

При этом для обеспечения техносферной безопасности населения требуется знание пространственной неоднородности загрязнения воздуха в результате сочетания всех негативных факторов.

В своем исследовании авторы настоящей статьи оперировали такими данными, как количество транспортных средств и интенсивность их потока в г.Новосибирск, полученными экспериментально.

Оценка загрязнения воздуха производилась путем непосредственного замера концентрации отдельных, наиболее важных поллютантов (натурный метод) в различных точках, расположенных в черте мегаполиса. Для уточнения собранных сведений применялась технология 3D-моделирования.

Информация о состоянии воздуха была получена в Новосибирском

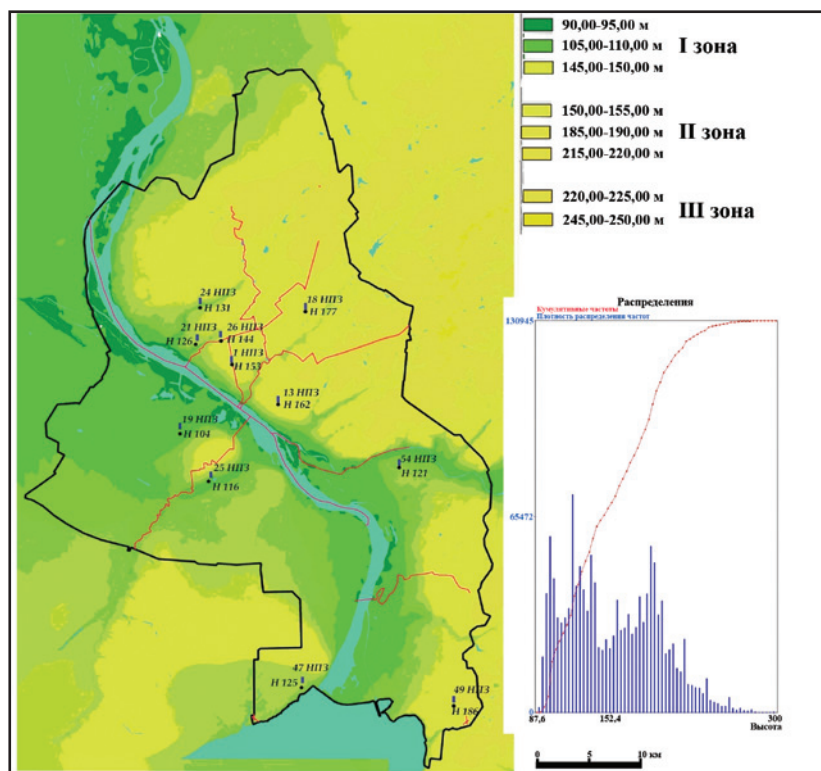


Рис. 1. Схема расположения постов экомониторинга в г.Новосибирск

**Количественные показатели рельефа мест расположения постов
и концентрации загрязняющих веществ**

Таблица 1

Пост №	Район	Высота Н, м	Типы форм рельефа	Пыль, мг/м ³	Сажа, мг/м ³	Оксид углерода мг/м ³
19	Ленинский	105	Седловина средневыпуклая конвергентно-ускоряющая	0,4	0,3	1
25	Кировский	100	Депрессия конвергентно-замедляющая	0,1	0	2
54	Первомайский	121	Холм дивергентно-ускоряющий	1	0,03	6
47	Советский	125	Депрессия конвергентно-замедляющая	0,3	0	5
21	Заельцовский	126	Седловина средневыпуклая дивергентно-замедляющая	0,6	0,03	2
24	Калининский	126	Седловина средневогнутая конвергентно-замедляющая	0,2	0	3
26	Железнодорожный	144	Седловина средневогнутая конвергентно-ускоряющая	0,2	0	2
1	Центральный	153	Седловина средневыпуклая дивергентно-замедляющая	0,2	0,001	-
13	Октябрьский	162	Седловина средневыпуклая конвергентно-ускоряющая	0,3		2
18	Дзержинский	178	Холм дивергентно-ускоряющий	0,1	0	2
49	Советский	186	Седловина средневогнутая конвергентно-замедляющая	0,3	0	7

центре по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (на октябрь 2020 г.). Специалисты этой организации выполняют регулярные наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха города на стационарных постах, схема расположения которых показана на рис. 1.

Количественные показатели рельефа мест нахождения постов и концентрации ядовитых веществ приведены в таблице 1.

Более детально было проанализировано пространственное распределение загрязнений в зоне недалеко от пересечения улиц Фабричная и Спартака. Этот участок был выбран неслучайно: ул.Фабричную отличает высокий дорожный трафик и близкое расположение речного порта. Здесь были выполнены учет количества и интенсивности транспортного потока, а также осуществлены точечные замеры.

Натурные наблюдения проводились следующим образом: автомобили фиксировались в течение часа непрерывно три раза в день (с 7 до 8, с 13 до 14, с 18 до 19 ч) на протяжении недели; отдельно отмечались разные виды подвижного состава. В рассматриваемой зоне в транспортном потоке (его общая интенсивность отображена на рис. 2) преобладали грузовики – от 75 до 83%.

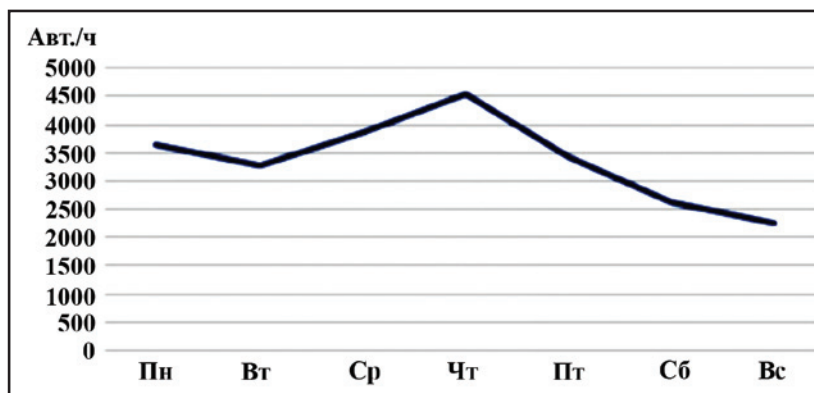


Рис. 2. Интенсивность транспортного потока в течение недели по ул. Фабричная

Анализирувавшийся участок весьма перегружен весь день, как видно из диаграммы средней скорости движения автомашин (рис. 3).

Концентрация загрязнителей из выбросов автомобилем вычислялась по расчетной методике.

На рис. 4 в качестве примера приведены результаты определения уровня содержания в воздухе оксида углерода.

Кроме того производились точечные замеры с помощью газоанализатора на территории порта г.Новосибирск. В итоге были получены 15 единичных значений CO (таблица 2).

Выполнялось сравнение данных о фактической концентрации оксида

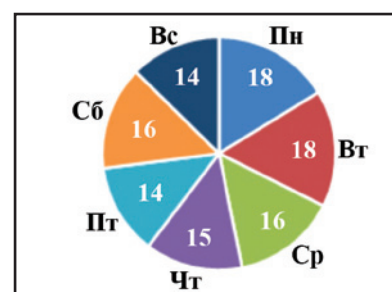


Рис. 3. Средняя скорость движения (км/ч) автотранспорта в течение дня по ул.Фабричная

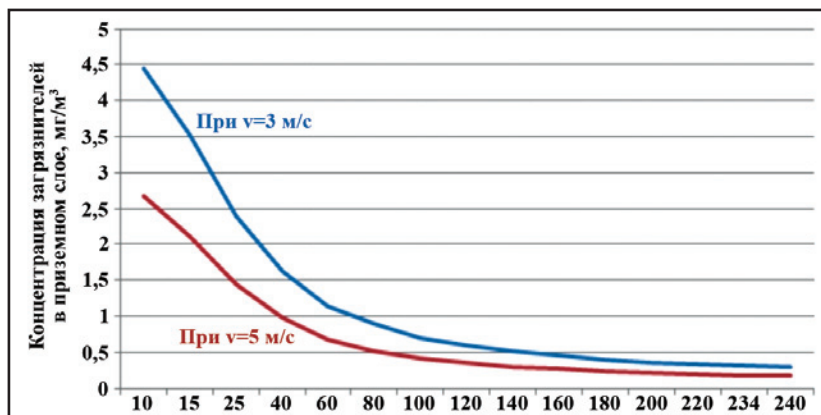


Рис. 4. Концентрация CO (в мг/м³) в приземном слое атмосферы от автотранспорта

углерода в районе улице Фабричная, полученных расчетным путем, измеренных газоанализатором, запрошенных в Центре мониторинга для поста НПЗ 13 (таблица 3).

Как видно, расчетная и фактическая концентрации CO отличаются (рис. 5):

- вычисленные значения превышают реальные, при этом снижение интенсивности транспортного потока не влияет на уменьшение величины;

- фактическое загрязнение снижено относительно расчетного по нескольким причинам: во все дни дул юго-западный ветер, пост НПЗ 13 располагается на иссеченном рельефе в плотной застройке.

Анализируя средние данные измерений в порту г.Новосибирск и средние расчетные значения, можно сделать вывод о том, что в порту

средняя концентрация CO выше, чем на участке ул.Фабричная, поскольку первая зона располагается на отрицательной форме рельефа, а вторая – на положительной.

По территории порта перемещается грузовой автотранспорт, а в акватории работает флот, однако наибольшее количество загрязняющих веществ выбрасывается в атмосферу в момент пуска двигателя.

Как показало исследование, загрязнения от автотранспорта в районе порта г.Новосибирск неравномерны в течение суток и по дням недели и влияют на ситуацию на ул.Фабричная.

Одним из факторов, определяющих распределение загрязнителей в черте города, является форма рельефа, застроенность территории, скорость и направление

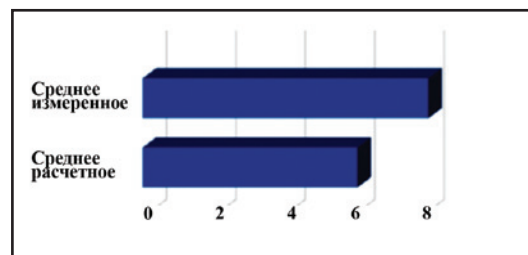


Рис. 5. Усредненные значения концентрации CO, мг/м³

ветра. Поэтому для учета всех особенностей рационально выполнять 3D-моделирование рассматриваемых участков.

Анализ пространственного распределения загрязнений целесообразно осуществлять с применением ГИС-технологий, позволяющих выстраивать цифровые модели рельефа, отображать пространственные объекты в 3D-формате, наглядно визуализировать объекты исследования, проследить динамику процессов во времени и реализовать функции пространственного анализа данных.

Актуальными представляются дополнительные натурные исследования для получения более полной информации об интенсивности загрязнения атмосферного воздуха различными поллютантами в черте мегаполиса.

Сведения, полученные в ходе исследований, могут служить основой для установления корреляционных уравнений между состоянием атмосферы, интенсивностью тран-

Концентрация CO (в мг/м³) в точках отбора на территории порта г.Новосибирск

Таблица 2

Точка отбора	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Концентрация CO (мг/м ³)	8,2	7,4	9,7	6,3	7,4	8,1	9,3	8,6	8,0	7,3	9,4	7,2	8,4	9,5	8,6

Данные мониторинга по ул. Фабричная

Таблица 3

Дни недели	Ветер		Концентрация CO, мг/м ³	
	Направление, градус	Скорость, м/с	Расчетная	Фактическая
Понедельник	230	4	6,5	3,4
Вторник	-	-	5,8	-
Среда	-	-	6,1	-
Четверг	320	3	5,6	2,3
Пятница	230	4	7,4	2,0
Суббота	270	5	5,6	2,0
Воскресенье	230	5	6,3	3,6

спортных потоков, реальным строением территории и ландшафтом. В свою очередь такие зависимости могут быть использованы для построения карты пространственного распределения загрязнителей по городу в целом.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Трубина Л.К., Панов Д.В. Некоторые аспекты учета экологической составляющей при мониторинге земель городских территорий // Изв. вузов. Геодезия

и аэрофотосъемка. – 2012. – № 2/1. – с. 121-123. 2. Анализ пространственного загрязнения атмосферы транспортом с использованием 3D-модели городской территории / Панов Д.В., Черновский Л.А. // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конф.: сб. материалов в 2 т. – Новосибирск: СГГА, 2012. – т. 2. – с. 107-112. 3. Трубина Л.К., Селезнев Б.В., Панов Д.В. Геоинформационный анализ форм рельефа для оценки земель г.Новосибирска // Интерэкспо ГЕО-

Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фоторадиометрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология»: сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15-26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. – т. 4. – с. 54-58. 4. Рослякова О.В., Панов Д.В. Анализ загрязнения атмосферы транспортом с учетом расположения дорожной сети // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока, НГАВТ, 2018. – № 2. – с. 272-275.

УЧРЕЖДЕНИЕ: Сибирский государственный университет водного транспорта (СГУВТ)

ТЕМА: Модульный принцип проектирования транспортных систем доставки грузов на реках Сибири

АВТОРЫ: С.Н. МАСЛЕННИКОВ, к.т.н, доцент; М.Г. СИНИЦЫН, старший преподаватель

УДК 656.02:656.13.07

Транспортная система – комплекс средств и оборудования, необходимых для удовлетворения потребностей в перевозках при минимальных затратах [1].

Конкурентоспособность внутреннего водного транспорта (ВВТ), и соответственно эффективность его функционирования, наряду с общеизвестными преимуществами, в значительной степени характеризуется способностью адаптироваться к внешним факторам: неопределенности предъявления грузов к доставке, изменчивости параметров судоходных путей и условий хозяйствования.

Постоянство напряженности экономической ситуации в нашей стране вынудило отраслевые компании реализовать технические и технологические схемы, использующие принципы гибкости и мобильности, без которых в реальности уже не получается полноценно удовлетворять потребности в перевозках и сопутствующих услугах. Только при рациональной организации работы возможно оптимально передислоцировать мощности в пределах и за границами бассейна.

Практику экспедиционного завоза грузов на малые реки с задействованием комплексов, включающих транспортный и вспомогательный флот, перегрузочную технику, диспетчерский аппарат, органично дополнили мобильные грузовые причалы и понтоны с перегрузочной техникой, универсальные несамодвижные суда для доставки автома-

шин и тяжеловесов. К ним следует добавить участие водного транспорта в интегрированных логистических системах, в решении различных нестандартных задач, таких как: геологоразведка, наплавные мосты, временные переправы, сооружение транспортных объектов.

Изменение состава и структуры грузопотоков, освоение территорий с неразвитой инфраструктурой ставят перед речниками новые задачи. Появляется потребность в комплексном подходе, предполагающем принцип «от двери до двери»: судоходная компания должна обеспечивать перевозку груза в пункты назначения, его выгрузку, доставку до получателей с помощью автомобилей, по необходимости оказывать дополнительные услуги.

В связи с этим актуальным представляется построение новых имитационных моделей, использующих преимущества технологий цифрового моделирования, для создания технически сложных объектов. Количественная модель в реальном времени и в географическом масштабе позволит лучше понять многогранную реальность и взаимодействие подсистем через некоторую абстракцию.

Такой «виртуальный транспортный комплекс» нужно рассматривать как набор модулей со множеством стандартных составляющих, каждая из которых, выполняя свои функции, обеспечивает достижение

общей цели логистической системы.

Принцип модульности, гибкая организационная структура с достаточным количеством технологически совместимых модулей, интегрированная система доставки призваны обеспечить высокое качество обслуживания за счет результативности, адаптации к изменениям, экономичности (снижение затрат, так как транспортные операции выполняются специализированными модулями), оперативности (возможность унификации методов управления в схожих обстоятельствах).

Очевидно, что с ростом степени интеграции расширяются потенциальные возможности системы, увеличивается степень многообразия и альтернативности [2]. Но это в свою очередь порождает проблемы, связанные с качеством функционирования системы, в частности формализацию процесса создания интегрированной системы доставки и оценки ее качества.

На основе анализа спроса потребителей на транспортные услуги и различных вариантов модулей организатор определяет, какие участники должны входить в состав системы доставки и какие функции должны быть реализованы.

Существующие мобильные технологии доставки грузов (МТДГ) базируются на возможностях изменять свои организационно-технологические параметры в зависимости от заданных ограничений. Основным инструментом МТДГ, состоящих из

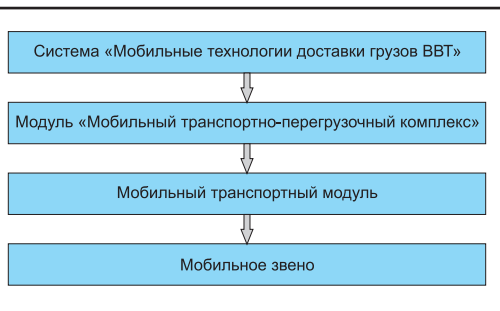


Рис. 1. Организационная структура мобильной организации перевозок

четырёх структурных уровней (рис. 1), являются мобильные транспортно-перегрузочные комплексы (МТПК, рис. 2 и таблица 1).

Гибкость деятельности ВВТ зависит прежде всего от трех факторов:

- технической – определяет возможность эксплуатации транспортного флота, вспомогательных судов и перегрузочных машин на конкретном участке;
- технологической – связана со скоростью передислокации отдельных модулей на новые участки работы;
- организационной – характеризуется временем перестроения МТПК для освоения новых грузопотоков.

Система МТДГ осуществляет мониторинг всех процессов, связанных с обеспечением доставки грузов, координирует действия МТПК, при необходимости передислоцирует отдельные транспортные модули или мобильные звенья.

МТПК – это временно создаваемая организационно-техническая система перевозки товаров, состоящая из отдельных модулей, формирование которых происходит с учетом потребностей клиента.

Под мобильным транспортным модулем понимается совокупность элементов, схожих по задачам выполняемого производственного процесса.

Мобильное звено – единица технологического оборудования, социально-культурного или медицинского обслуживания.

Суть модульного принципа состоит в возможности построения множества сложных систем различного функционального назначения из определенного количества первичных звеньев-модулей [4]. Тогда модуль будет самостоятельным элементом с конкретными функциями, с некоторыми входными и выходными параметрами. В этом случае состав параметров будет определяться общим назначением системы и совместимостью с другими элементами и связями. Модули могут быть объединены в сложные системы, отключены и заменены, чтобы получить другие системы с актуализованными целями и задачами.

Модель интегральной системы доставки грузов можно представить в виде:

$$W = \{X; F; R; t\},$$

где $X = \{X_1; X_2; \dots; X_n\}$ – множество стандартных модулей, отвечающих требованиям системы, n – количество модулей;

F – целевая функция;

R – множество параметров модулей, обеспечивающих их совместимость;

t – момент проектирования системы доставки.

Модульная технология проектирования доставки предоставляет возможность автоматизации про-

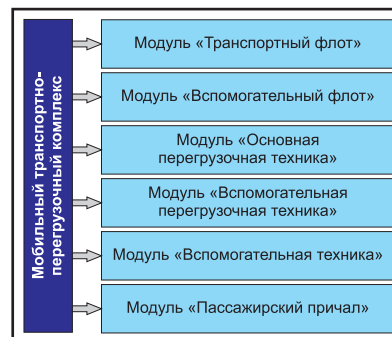


Рис. 2. Модули мобильного транспортно-перегрузочного комплекса

цесса аналогично проектированию техники, позволяет ускорить процесс проектирования и не ограничивать число модулей, определяющих функционирование системы.

В качестве модулей системы надлежит включать участки водных путей с конкретными эксплуатационными характеристиками, а при планировании путевых работ – и экономическими.

Процесс создания МТПК во многом зависит от множества внешних факторов, разнообразием которых отличается Сибирь. Реализация рассматриваемой схемы особенно актуальна на верхних и боковых участках магистральных рек.

Наиболее важными параметрами при отборе звеньев системы являются глубина судового хода, потенциальный период завоза грузов и скорость течений.

Классифицировать реки Сибири по параметру «период завоза грузов» (таблица 2) рационально по двум типам – осваиваемые в течение всей навигации и только в полноводный период [5]. Анализ

Состав модулей мобильного транспортно-перегрузочного комплекса Таблица 1

Наименование модуля	Элементы модуля	Назначение
1. «Транспортный флот»	Грузовой буксирный и пассажирский флот	Перевозка грузов и пассажиров
2. Модуль «Вспомогательный флот»	Обслуживающий флот	Обслуживание флота
3. Модуль «Основная перегрузочная техника»	Плавающие и судовые краны	Организация перегрузочных процессов
4. Модуль «Вспомогательная перегрузочная техника»	Бульдозеры, экскаваторы, погрузчики и т.д.	Организация вспомогательных операций, связанных с погрузкой и выгрузкой грузов из судна
5. Модуль «Вспомогательная техника»	Автомобили разных типов	Доставка груза по принципу «от двери до двери»
6. «Пассажирский причал»	Специализированные суда, необходимые для приема и проживания пассажиров	В период работы МТПК данные суда используются для приема и проживания людей, выполняющих функции мобильного вахтового поселка

Бассейн	Период завоза	Реки
Восточно-Сибирский	Навигация (Н)	-
	Полноводный период (ПП)	Ангара (верхний участок), Баргузин
Енисейский	Н	-
	ПП	Большая Хета, Большой Пит, Елогуй, Кас, Нижняя Тунгуска, Подкаменная Тунгуска, Сым, Турухан
Ленский	Н	Адыча, Анабар, Вилой, Индигирка, Колыма, Лунгха, Малый Анной, Марха, Оленек, Омолон, Тюнг, Чондон, Яна
	ПП	Амга, Жуя, Мая, Чара
Обский	Н	Катунь
	ПП	Бакчар, Кенга, Парабель, Тым, Парбиг, Чаус, Чая, Чузик
Обь-Иртышский	Н	Аган, Васюган, Вах, Конда, Лямин, Надым, Пур, Тара, Таз, Тромъеган, Тура
	ПП	-

данных показал: в каждом речном бассейне преобладает тот или иной тип, что существенно сужает выборку транспортных звеньев; в регионах с преобладанием рек с полноводным периодом возникает дефицит транспортного флота и крановой механизации во время открытия сезона. Решение этой проблемы лежит на поверхности: передислокация мощностей из одного бассейна в другой, чтобы выиграть время для маневра и минимизации рисков невыполнения заказов.

По параметру «глубина судового хода» был изучен Обь-Иртышский бассейн. Диапазоны изменения глубин были выбраны на основе анализа осадок эксплуатируемого здесь транспортного флота (рис. 3) [3].

Для повышения эффективности работы ВВТ полезно исследовать насущные потребности в перевозках, а также имеющиеся для их осуществления возможности [7].

Нередко возникает ситуация, когда у многих организаций суда и перегрузочная техника простаивают, поскольку либо отсутствует производственная необходимость, либо тоннаж не соответствует заданным параметрам в конкретном регионе, в то время как в других местах наблюдается дефицит.

Для решения этой задачи следует создать единое информационное пространство наличия и дислокации флота. Инициатором формирования такого инструментария должно выступать государство. У крупных отраслевых компаний подобные разработки внедрены, но они используются изолированно от других участников транспортного процесса. Значит, нужен программный продукт, который позволит интегрировать информацию от разных источников в единую систему с возможностью подключения к ней более мелких перевозчиков на условиях дотаций.

Выбор варианта освоения грузовых потоков стационарными или мобильными элементами обусловлен структурой грузовых потоков, территориальным размещением мощностей для выполнения этих перевозок, а также связан с дальнейшей перспективой развития соответствующих регионов.

Применение мобильных технологий доставки призвано повысить надежность транспортного процесса, снизить транспортные издержки, вызванные простоем флота, увеличить оборачиваемость судов транспортного флота и крановой механизации, оптимизировать время освоения новых территорий [6].

Эффект от применения МТДГ заключается в коротких сроках ввода в эксплуатацию, в возможности быстрой передислокации отдельных звеньев (при необходимости). Развертывание МТПК менее затратно, чем строительство новых стационарных причалов.

Система «модульного проектирования мобильных технологий доставки грузов» эффективно выстраивается на базе следующих элементов, в том числе:

- достоверное имитационное моделирование;
- информационные технологии;
- цифровые технологии и платформенные решения;
- сферы проектирования на основе разработки и применения на всех этапах жизненного цикла цифровых двойников (англ. – Digital twin).

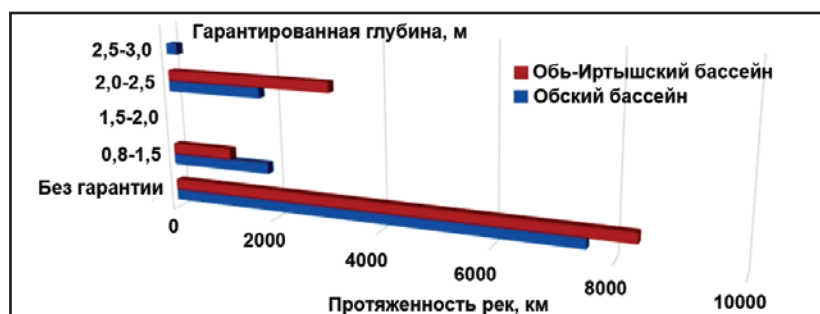


Рис. 3. Структура протяженности водных путей в Обь-Иртышском бассейне

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Оценка транспортной возможности воднотранспортного бассейна (на примере Ленского бассейна) / Бунеев В.М., Сеницын М.Г. // В сб. «Политранспортные системы». Мат.-лы XI Межд. Научн.-техн. конф. – Новосибирск, 2020. – с.300-304. 2. Оценка транспортного использования водных магистралей Обь-Иртышского бассейна / Бунеев В.М. // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2013. – № 2. – с.3-6. 3. Оценка перспектив развития внутреннего водного транспорта в Обь-Иртышском

бассейне / Масленников С.Н., Сеницын М.Г., Жендарева Е.С. // Речной транспорт (XXI век). 2021. – № 3(99). – с.56-60. 4. Особенности применения логистических принципов на малых реках арктической зоны России / Масленников С.Н., Сеницын М.Г., Сеницын Г.Я. // Речной транспорт (XXI век). 2020. – № 4(96). – с.50-53. 5. Гидрологические особенности боковых рек северных районов Сибири и их влияние на организацию и технологию перевозок грузов / Сеницын М.Г. // В сб. труд. Всеросс. Научн.-практ. конф. «Современные научные исследования:

актуальные проблемы и тенденции». «Речной Форум-2019». – с.243-248. 6. Принцип оптимизации схем доставки грузов на притоки магистральных рек в восточных бассейнах / Сеницын М.Г. // Речной транспорт (XXI век). 2018. – № 1(85). – с.38-39. 7. Ресурс в развитии инфраструктуры перевозок грузов и пассажиров по малым водным путям Сибири и Дальнего востока / Сеницын Г.Я. // В сб. труд. Всеросс. Научн.-практ. конф. «Современные научные исследования: актуальные проблемы и тенденции». «Речной Форум 2019». – с.237-242.

УЧРЕЖДЕНИЕ: Сибирский государственный университет водного транспорта (СГУВТ)

ТЕМА: Лабораторные исследования кинематики потока при устройстве дноуглубительной прорези (ДП)

АВТОРЫ: Т.В. ПИЛИПЕНКО, к.т.н, доцент; А.А. КАЛАШНИКОВ, старший преподаватель; кафедра водных путей, изысканий и гидротехнических сооружений (ВПИиГТС)

УДК 627.42:556.536

Эффективное функционирование речного транспорта невозможно без осуществления комплекса путевых мероприятий, прежде всего дноуглубления. Поэтому для экономии ресурсов, исключения необходимости проведения повторных операций и сокращения объемов производства в целом представляется актуальным, в частности обеспечение сохранности транзитных глубин на перекатах после разработки ДП.

Желаемый результат достигается посредством формирования прорези определенной конфигурации, при которой обеспечивается ее максимальная устойчивость, то есть с течением времени сохраняется плановое очертание.

Благодаря накопленному за последние годы опыту дноуглубления и развитию теории устойчивости русел рек можно создать общие методы обоснования устойчивости судоходной трассы [3]. Однако некоторые вопросы, такие как влияние конфигурации ДП на повышение устойчивости и ее оценка, останутся открытыми.

Данные, полученные по итогам ряда исследований [1, 7, 8], позволяют удовлетворительно представлять процесс заносимости ДП, при этом оставляя возможность для дальнейшего совершенствования существующих методик оценки заносимости и поиска новых спо-

собов, но не дают детальных рекомендаций по обеспечению условий, способствующих уменьшению заносимости, т.е. повышающих устойчивость.

Целью проводимого авторами настоящей статьи исследования является оценка влияния конфигурации ДП на повышение ее устойчивости, а также подготовка соответствующих рекомендаций.

Следовательно, необходимо решить две задачи:

– изучить в натурных условиях деформации дна в ДП при производстве путевых работ (на примере рек Обского бассейна, перекатов плеса р.Обь г.Новосибирск – устье р.Томь);

– сформулировать и проверить на гидравлической модели принципы повышения устойчивости прорези.

Основываясь на опыте, накопленном специалистами кафедры ВПИиГТС СГУВТ [2], будем рассматривать ДП с формой поперечного сечения, представленной на рис. 1.

Такой выбор обусловлен учетом необходимости создания дополнительного переуглубления в боковых траншеях, что позволит:

1. добиться роста скорости речного потока в пределах прорези;

2. сформировать условия для аккумуляции в траншеях излишнего объема грунта, возникающего по причине уположивания бокового

откоса прорези со временем после окончания ее разработки.

При этом возникает потребность в моделировании происходящих в прорези процессов для исследования влияния предложенных мероприятий на повышение ее устойчивости.

Применение гидравлической модели обусловлено необходимостью оценки эффективности вариантов проектных решений трассирования ДП на плесе р.Обь г.Новосибирск – устье р.Томь.

Вообще гидравлические модели речного русла с жесткими неразрываемыми границами (бетонная, наклеенная или неподвижная зернистая шероховатость, а также другие разновидности) могут широко использоваться для изучения гидравлических характеристик потока (уклоны, уровни, профиль свободной поверхности, поле скоростей и структура течений), при обосновании рациональных методов проектирования и эксплуатации выправительных сооружений и мероприятий для русла и поймы судоходной реки. Такие модели позволяют решать задачи, в том числе по трассированию на перекатных участках судоходных рек ДП и по выбору ее конфигурации.

Пространственные гидравлические характеристики потока для морфологического строения исследуемого участка русла и сооруже-



Рис. 1. Разработка дноуглубительной прорези с переуглублением крайних траншей

ния при различных расходах воды, результаты исследования на жесткой модели в комплексе с имеющимися натурными данными, морфологическими и гидравлическими расчетами позволяют также решать задачи по прогнозированию русловых процессов и деформаций для различных вариантов проектных решений судоходной трассы.

Течение жидкости со свободной поверхностью обусловлено силой тяжести [6]. Поэтому для обеспечения динамического подобия природы и жесткой модели необходимо сохранение в натуре и на модели одинаковыми отношения силы инерции к силе тяжести, то есть числа Фруда:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gH}}, \quad (1)$$

где v – скорость движения потока;

g – ускорение силы тяжести;

H – глубина потока.

Кинематическое подобие выражается условием:

$$Re_M > Re_{кр}, \quad (2)$$

где Re_M – число Рейнольдса (или критерий кинематического подобия) модельного потока;

$Re_{кр}$ – критическое значение числа Рейнольдса, разграничивающее ламинарный и турбулентный режимы течения, варьирующееся в пределах от 300 до 1500 (в зависимости от условий входа на модель и от состояния граничной поверхности).

Число Рейнольдса модельного потока:

$$Re_M = \frac{v_M H_M}{\nu}, \quad (3)$$

где v_M – характерная скорость модельного потока;

H_M – характерная глубина модельного потока;

ν – кинематический коэффициент вязкости;

Условием $Re_M > Re_{кр}$ обеспечивается автомодельность явления по гидравлическим сопротивлениям. Известно, что в автомодельной зоне гидравлические сопротивления не зависят от числа Рейнольдса.

Динамическое подобие выражается условием:

$$Fr_M = Fr_H \text{ или } Fr = idem. \quad (4)$$

Общий комплекс требующих выполнения условий представляется так:

$$B/H = idem; Re_M > Re_{кр}; Fr = idem, \quad (5)$$

где H и B – характерные глубина и ширина потока соответственно;

Индекс «м» здесь и далее означает принадлежность величины к модельным значениям, «н» – натурным.

Соблюдение этих условий должно быть достаточным, чтобы рассчитывать на удовлетворительную работу модели в части подобия осредненных характеристик потока: распределения глубин и скоростей потока поперек и вдоль моделируемого сооружения, распределения продольных и поперечных уклонов поверхности потока.

Однако, для выполнения условия (2) нужно назначать масштаб глубин более крупным, по сравнению с плановым, тем самым искажая в целом форму и детали рельефа русла либо сооружения.

Для соблюдения условия (4) практически всегда приходится задавать модели дополнительную

искусственную шероховатость [4] тем большую, чем больше усреднен действительный рельеф речного русла и чем больше мера несоответствия горизонтального и вертикального масштабов, то есть искажение моделируемого участка реки или сооружения. Такой операцией достигается подобие создаваемой модели и природы по гидравлическим сопротивлениям. При этом размеры шероховатости устанавливаются путем подбора при тарировке модели, последовательным приближением глубин и уклонов модельного потока к расчетным значениям.

В составе модельных экспериментов распределение скоростей течения по вертикали представляет особый интерес, поэтому с учетом этих обстоятельств и размеров имеющейся лабораторной площадки горизонтальный масштаб модели был принят равным 1:100. Вертикальный масштаб модели был принят с учетом соблюдения условия $Re_M \geq Re_{кр}$.

Второе обстоятельство, определяющее величину вертикального масштаба, заключается в необходимости получения на модели удобных для работы глубин.

Такие обстоятельства вынуждают укрупнить вертикальный масштаб модели, по сравнению с ее горизонтальным масштабом, и принять равным 1:25. Значит, принимается решение об искажении геометрических масштабов при определении характеристик гидравлической модели.

Стоит отметить, что 4-х кратное несоответствие вертикального и горизонтального масштабов, как показывает опыт отечественных и многих зарубежных лабораторий [5, 9], для широких (с отношением $B/H=100$), близких к прямолинейному в плане очертания русел рек, допустим при решении подобных задач, то есть позволяет добиться кинематического и динамического подобия модели и природы по основным осредненным характеристикам исследуемых процессов.

Русловая съемка перекатного участка Орско-Борский р.Оби в 2020 г., полученная авторами в результате работы в составе русловой изыскательской партии 22 Новосибирского РВПИС, дополненная рельефом поймы, взятым с крупномасштабных топокарт, послужила основой для составления общего плана участка реки, по которому воспроизводился ее рельеф, расход, уклон на модели.

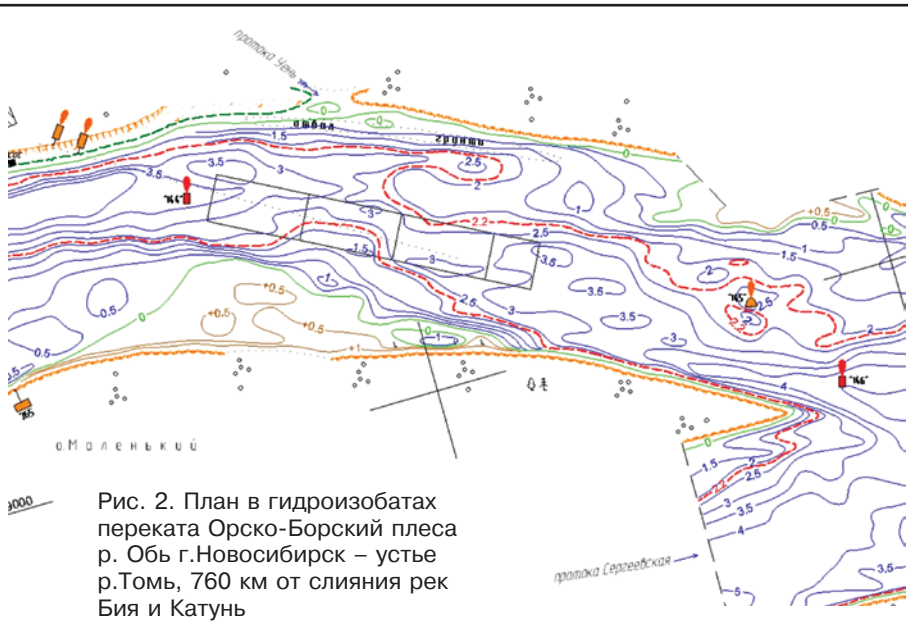


Рис. 2. План в гидроизобатах переката Орско-Борский плеса р. Обь г.Новосибирск – устье р.Томь, 760 км от слияния рек Бия и Катунь

Приведем некоторые гидрологические характеристики перекатного участка Орско-Борский плеса г. Новосибирск – устье р.Томь:

- расположен на 760 км, в левом судходном рукаве с 47%-м распределением расходом по рукавам;
- расход в судходном рукаве – 1610 м³/с;
- отметка проектного уровня в Б.С. – 87,0;
- уклон – 4,5 см/км;
- средние скорости равны 2,0 м/с.

С учетом этих данных модель была рассчитана в жестком варианте с 4-х кратным искажением рельефа: горизонтальный масштаб модели – 1:100, вертикальный – 1:25.

Условие $Re_M > Re_{кр}$ должно безусловно обеспечиваться моделью, а для выполнения условия $Fr = idem$ на поверхности модели требуется наличие дополнительной шероховатости. Тарировку модели необходимо производить при

расходе воды 1610 м³/с, соответствующем расходу исследуемого участка реки. В основу расчетов для сравнения полагалось условие $Fr = idem$.

Записав выражение для расхода воды ($Q = BVHv$) и выразив скорость потока через число Фруда ($v = Fr \sqrt{gH}$), для отношения расходов воды в натуре и на модели, то есть масштабный коэффициент расходов, имеем:

$$\alpha_Q = \frac{Q_N}{Q_M} = \alpha_{Fr} \alpha_B \alpha_H^{3/2}, \quad (6)$$

где α_{Fr} – масштабный коэффициент числа Фруда;

α_B – плановый масштабный коэффициент;

α_H – масштабный коэффициент глубины (вертикальный).

Отсюда в случае искаженной модели ($\alpha_B \neq \alpha_H$) масштабный коэффициент расходов равен: $\alpha_Q = \alpha_B \alpha_H^{3/2}$.

Аналогично расходу воды для масштабного коэффициента скоростей потока можно записать:

$$\alpha_v = \frac{v_N}{v_M} = \frac{Fr_N (\sqrt{gH})_N}{Fr_M (\sqrt{gH})_M} = \alpha_{Fr} \alpha_H^{1/2}. \quad (7)$$

Гидравлические характеристики натурального и модельного потоков, полученных при создании модели ДП, сведены в таблицу.

Число Рейнольдса на модели отвечает требованиям $Re_M > Re_{кр}$, превышая верхний предел и, таким образом, свидетельствуя о получении на модели вполне развитого турбулентного режима потока.

Скорость течения на модели возможно определять микровертушками и с помощью трубки Пито. Скорость и направление течения в придонной зоне фиксируется с помощью ватных шариков, пластмассовых частиц и окрашенной жидкости.

С учетом полученных расчетных характеристик для модельного потока был выполнен проект размещения модели на лабораторной базе кафедры ВПИИГС СГУВТ с использованием гидравлического лотка шириной 1,30 м и длиной 30 м.

Кроме того, были определены параметры аппаратуры, необходимой для функционирования модели в назначенном диапазоне гидравлических характеристик. В частности должны обеспечиваться: расход воды на модели – до 10 л/с, надежность отсчета урвнережного оборудования – в 0,1 мм, скорости течения – в диапазоне 1,0–25,0 см/с, надежность отсчета приборов для измерения отметок дна модели и свободной поверхности – не хуже 1,0 мм.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Построение планов течений на затруднительных участках рек / Ботвинков В.М. / Труды НИИВТ, 1979. – Вып. 139. – с. 30-38.
2. Ботвинков В.М. Проектирование дноуглубительных и выправительных работ на малых реках.

Гидравлические характеристики натурального и модельного потоков

Характеристика потока	Натура	Модель	Масштабный коэффициент	
			Символ	Числовое значение
Ширина, м	100	1	α_B	100
Средняя глубина, м	3	0,12	α_H	25
Средняя скорость, м/с	2,0	0,4	α_v	5
Расход воды,	1610	0,129	α_Q	12500
Число Фруда	0,37	0,37	α_{Fr}	1
Число Рейнольдса	$6 \cdot 10^6$	$4,8 \cdot 10^4$	α_{Re}	125
Относительная ширина (B/H)	33,33	8,33	$\alpha_{B/H}$	4

– Н.: НГАВТ, 1995. – 86 с. **3.** Гладков Г. Л. Обеспечение устойчивости русел судоходных рек при дноуглублении и разработке русловых карьеров (дисс. докт. наук). – СПб.: СПГУВК, 1996. **4.** Гендельман М.М., Копалиани З.Д. Опыт моделирования русловых процессов по гидравлическим сопротивлениям (тезисы докладов научн.-техн. конф.

«Повышение эффективности транспортно-строительного строительства и качества строящихся объектов»). – М., 1979. – 174 с. **5.** Клавен А. Б., Копалиани З. Д. Экспериментальные исследования и гидравлическое моделирование речных потоков и руслового процесса. – СПб., 2011. – 543 с. **6.** Знаменская Н.С. Гидравлическое моделирование русло-

вых процессов. – СПб., 1992. – 239 с. **7.** Лавыгин А. М. Заносимость дноуглубительных прорезей на прямолинейных участках рек и пути ее снижения (автореф. дисс. канд. Наук). – Л.: ЛИВТ, 1988. **8.** Снисченко Б.Ф. (автореф. дисс. канд наук). – Л., 1964. – 18 с. **9.** Shen H.W. Modeling of rivers. № 9, 1976. – 745 p.

УЧРЕЖДЕНИЕ: Волжский государственный университет водного транспорта (ВГУВТ)

ТЕМА: Применение аддитивных технологий при исследовании взаимодействия судового якоря с грунтом

АВТОРЫ: Ю.А. КОЧНЕВ, к.т.н., доцент, кафедра «Проектирование и технологии постройки судов»; И.Б. КОЧНЕВА, к.т.н., доцент, кафедра «Охрана окружающей среды и производственной безопасности»; С.Д. КОСТЕРИНА, студент, факультет «Кораблестроение, гидротехника и защита окружающей среды»

УДК 629.5

Перед выводом на рынок новой продукции предприятию-изготовителю необходимо подтвердить ее эксплуатационные характеристики. Применительно к судовым устройствам, в частности якорям, это касается оптимальных габаритных размеров, способности самобалансировки, значения держащей силы (ДС).

Первые два параметра реально обосновать еще на этапе проектирования и трехмерного моделирования, например с применением цифрового прототипа [1].

С одной стороны, такой метод позволяет с высокой точностью (для инженерных задач) описывать геометрию (форму) изделия, находить центр масс и другие величины. С другой стороны, несмотря на потенциальную возможность этим способом исследовать взаимодействия как деталей якоря друг с другом, так и с внешними объектами [2], довольно сложно осуществлять математическое моделирование зацепления якоря за грунт, которое в конечном счете определяет ДС.

Значение ДС может быть вычислено с помощью методики, описанной в [3], однако, в ней рассматривается якорь в статическом состоянии в грунте, вне зависимости от его геометрии и способности заглубиться в такое положение:

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta = \arctg\left(\frac{\Psi l^2}{\varphi_p h_a}\right) \\ T_y = 2\varphi_p \sqrt{F^2 + \Phi^2} \left\{ \cos\left(\alpha - \arcsin\frac{F}{\sqrt{F^2 + \Phi^2}}\right) \right\} \cos \beta, \\ T_y \sin \beta \leq 2\varphi_p (F_\sigma + \Phi_\sigma) \end{array} \right.,$$

где φ_p – удельное сопротивление грунта;
 Ψ – удельная неоднородность грунта;
 F – площадь лап якоря;
 Φ – площадь «фланца» лапы

α – угол отклонения лапы от веретена;
 β – угол поворота якоря относительно вертикальной оси;
 l – расстояние между серединой лапы и осью коробки;
 h_a – длина веретена между осями;
 F_σ, Φ_σ – боковая площадь лапы и фланца соответственно.

Первое выражение позволяет рассчитать поворот якоря вокруг вертикальной оси, возникающий из-за неоднородности грунта. Неравенство контролирует поперечное опрокидывание якоря и его движение лагом. Из второй формулы получается непосредственно ДС, то есть искомый параметр.

Из анализа приведенной системы уравнений можно сделать вывод, что ДС определяется площадью поверхности лап, соприкасающейся с грунтом, и его удельным сопротивлением, зависящим от многих случайных факторов, которые описываются вероятностной моделью.

Более точно ДС вычисляется в ходе испытаний якоря на различных грунтах: песчаном, каменистом, илистом [4]. Для подтверждения способности якоря обеспечивать повышенную ДС такие тесты являются обязательными (три эксперимента с различными используемыми массами), что сильно удорожает стоимость опытно-конструкторских



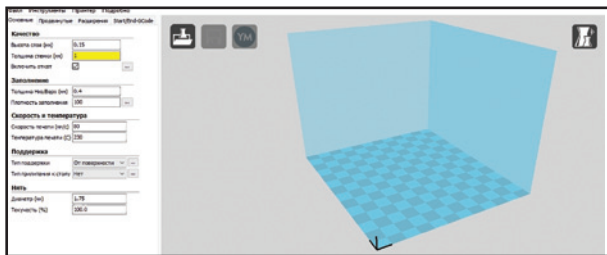


Рис. 1. Вид рабочего окна компьютерной программы

работ, и не позволяет их выполнять без государственной поддержки. Поэтому предприятия-изготовители вынуждены искать альтернативные варианты для снижения издержек.

С внедрением в промышленность прототипирования на основе аддитивных технологий с применением 3D-принтеров (фото) возникает потенциальная возможность использования пластиковых масштабных моделей судового якоря для прогнозирования ДС и изучения влияния на нее геометрических особенностей якоря.

В рамках проводимого авторами настоящей статьи исследования выполнялся экспериментальный анализ возможности осуществления модельных испытаний на основе масштабных пластиковых прототипов якорей AR-14 и Холла.

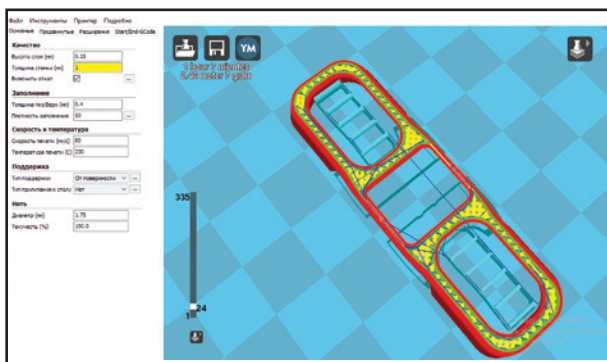


Рис. 2. Послойное представление детали для 3D-принтера

Поставленная цель достигалась путем решения ряда задач:

- 1) выбор материала для создания моделей якорей;
- 2) обеспечение требуемых характеристик геометрического подобия;
- 3) разработка лабораторной установки для испытаний.

Для работы с 3D-принтером и получения моделей, обладающих необходимыми свойствами, важен грамотный подбор расходных материалов. В рассматриваемом аппарате применяется специальная пластиковая нить, которая может быть изготовлена из следующих веществ: Nylon618, Nylon645, LAYWOO-D3, PVA, HIPS, PET, Laybrick, T-Glase, поликарбонат и т.п. Чаще всего отдают предпочтение двум разновидностям нитей – из ABS и PLA.

ABS-пластик стал популярным в системах быстрого прототипирования благодаря температуре плавления – достаточно высокой, чтобы не возникало нежелательных деформаций при небольшом нагреве в бытовых условиях, но достаточно низкой для безопасной экструзии с помощью стандартных инструментов. Этот материал

используется для изготовления крупных деталей, обладает высокой стойкостью к ударным нагрузкам (что актуально для случая ударного соприкосновения якоря с грунтом), износостоек, делает блестящей поверхность детали; устойчив к щелочам, смазочным маслам, растворам неорганических солей и кислот, углеводородам, жирам, бензину.

PLA-пластик применяется при изготовлении элементов с коротким сроком службы, с хорошим скольжением (например, подшипники, или применительно к якорю – узел вращения лап на веретене), отличающихся нетоксичностью.

Особенности остальных материалов описаны, в частности в [5 и 6].

Подготовка проекта к 3D-печати осуществлялась в компьютерной программе «Wanhao Cura» [7], позволяющей настраивать основные геометрические характеристики, масштаб модели, а также дополнительные параметры, связанные с печатью и самим механизмом: температура, скорость, толщина слоя и многое другое (рис. 1).

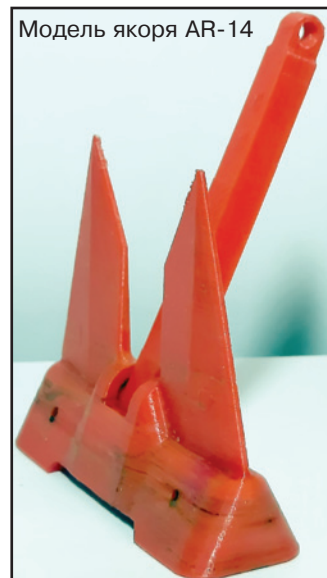
Система разбивает электронный трехмерный файл модели на несколько слоев (рис. 2) и генерирует специфический для принтера g-код.

Данная программа совместима практически со всеми настольными 3D-принтерами и поддерживает распространенные 3D-форматы, включая OBJ, STL, 3MF, X3D, а также читает файлы изображений – PNG, JPG, GIF и BMP [7].

Готовые изделия были подвергнуты финальной обработке, чтобы все детали свободно перемещались друг относительно друга при движении якоря.

Полученные модели якорей AR-14 и Холла показаны на фото.

Геометрическое подобие элементов обеспечивалось на этапе создания трехмерных моделей якоря в компьютерной среде «Autodesk Inventor» [7]. Подобие по силам инерции и гравитации не принималось во внимание, поскольку рабочее состояние якоря – статическое, при отсутст-



вии скорости перемещения модели относительно грунта. Масштабным эффектом размера объекта, имитировавшего дно водоема, тоже пренебрегали, так как, во-первых, целью исследования является возможность использования пластиковых деталей, во-вторых, наибольший интерес представляло именно соотношение ДС якорей различной формы, которые будут находиться в равных условиях.

Для эксперимента авторами статьи был разработан лабораторный бассейн (рис. 3).

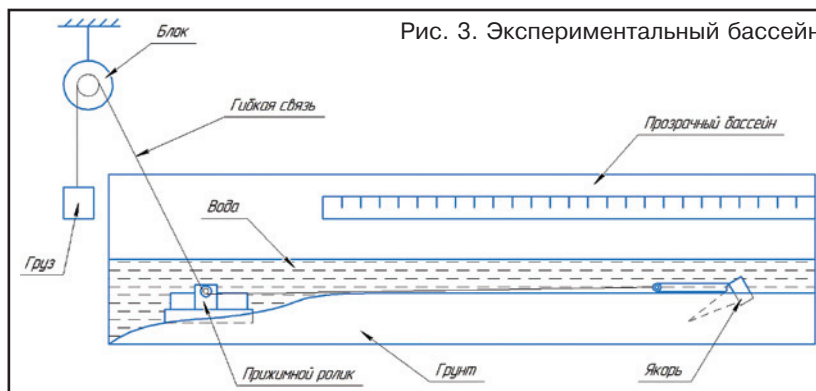


Рис. 3. Экспериментальный бассейн

Опыт проводился поэтапно:

1. Якорь укладывался на грунт без зацепления с ним;
2. Подвешивался груз, который приводил якорь в движение, заставляя его переходить в рабочее положение и либо останавливаться через некое расстояние, (что означало зацепление якоря за грунт), либо ползти (потеря ДС).

3. Повторялся второй шаг до тех пор, пока не определялась максимальная нагрузка, соответствовавшая ДС якоря.

Итоговые результаты эксперимента для моделей якорей AR-14 и Холла сведены в таблицу.

Исследования показали, что поведение моделей якорей из ABS-пластика с точки зрения их зацепления за грунт приближено к реальности. Значит, есть основания утверждать: модельные испытания могут быть использованы для изучения влияния геометрических характеристик якоря, таких как отношение высоты и ширины лапы к ее длине, положения центра тяжести лапы и якоря в целом на ДС и процесс заглибления за грунт. А при наличии методики пересчета результатов модельного эксперимента на натурные условия, можно формулировать рекомендации для классификационных обществ по замене дорогостоящих испытаний якоря.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Применение цифровых прототипов при проектировании якоря повышенной держащей силы / Роннов Е.П., Кочнев Ю.А. // Труды 15-го межд. научн.-пром. фор. «Великие

Результаты испытаний моделей якорей

Якорь	Масса модели, г	Масса груза, г	Коэффициент ДС
Холла	46,5	862	18,5
AR-14	59	1560	26,4

реки-2013». – с. 386-391. 2. Использование виртуального и материального цифрового производства – будущее судостроительной отрасли / Давидович А.Н.// CADmaster, 2010. – № 2 – с. 66-74. 3. Судовые устройства: Справочник (под ред. Александрова М.Н.). – Л.: Судостроение, 1987 – 656 с. 4. International Association of Classification Societies. Unified Requirements. Anchoring Equipment A1. – p. 15. 5. 4. Анализ свойств материалов, используемых в аддитивных технологиях, и особенности их влияния на формирование внутренних резьб / Фарниев А.С., Новиков П.А.// Вестник современных технологий, 2020. – № 3(19) – с.42-46. 6. Подробный гид по выбору пластика для 3D-печати [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://top3dshop.ru/blog/podrobnyj-gid-po-vyboru-plastika-dlja-3d-pechatii.html>. 7. Учебник по Cura 3D: как пользоваться программой-слайсером Cura [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3dpt.ru/blogs/support/cura>. 8. Моделирование судостроительных изделий с использованием технологии «цифрового прототипа» / Роннов Е.П., Кочнев Ю.А.// Судостроение.. – 2014. – №3 (814).– с.29-30.

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

ТЕМА: Сравнительная оценка уровня технического развития судовых дизелей

АВТОРЫ: В.А. ЖУКОВ, д.т.н., доцент, зав. кафедрой судостроения и энергетических установок; А.Н. ГОМБАЛЕВСКИЙ, аспирант

УДК 621.431

Транспортной стратегией РФ до 2030 года предусмотрена модернизация отечественного флота с укомплектованием его эффективными силовыми машинами.

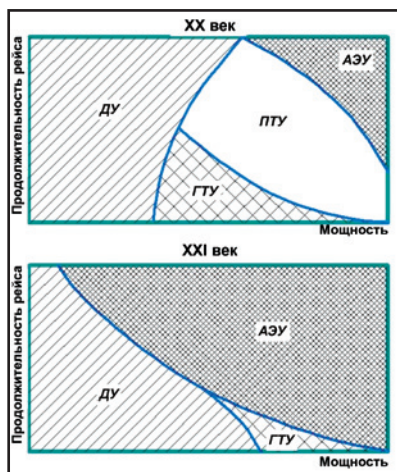
В настоящее время в нашей стране производятся различные неатомные агрегаты, предназначенные для эксплуатации на гражданских транспортных средствах и кора-

блях. Традиционная классификация включает три группы судовых энергетических установок (ЭУ), в зависимости от типа главного двигателя, потребителем которого является движитель: котлотурбинные (КЭУ), дизельные энергетические (ДЭУ) и газотурбинные (ГЭУ) [1].

Выбор конкретной машины обусловлен прежде всего двумя

факторами: дальностью плавания (автономностью) и необходимой мощностью, определяемой назначением и водоизмещением судна.

На основании экспертных оценок авторами настоящей статьи были построены графики, отражающие тенденции применения различных типов корабельных и судовых агрегатов (рис.) [2].



Распределение типов энергоустановок: дизельные (ДУ), газотурбинные (ГТУ), паротурбинные (ПТУ), атомные энергетические (АЭУ)

Как свидетельствуют представленные зависимости, практически исчезли паротурбинные установки в чистом виде, сократилось использование ГЭУ и, соответственно, получили распространение атомные машины. Последние задействованы там, где требуются высокая мощность и длительное пребывание в рейсе, – на ледоколах и транспортном флоте, эксплуатирующихся на Севморпути.

Для речных, смешанного (река–море) плавания и морских судов в XXI веке основными останутся ДЭУ, которые будут применяться и как первичные двигатели в дизель-электрических ЭУ, и в качестве элементов комбинированных схем, призванных повысить энергоэффективность системы в целом [3].

В послевоенные годы отечественные конструкторы создали три

поколения ДЭУ (таблица 1) [2]. На данный момент в разработке находится новый агрегат, в котором роль первичного двигателя будет играть дизель Д600К, произведенный ОАО «Коломенский завод».

Можно с уверенностью утверждать, что дизели, пока имеющие самый высокий КПД среди тепловых машин, сохраняют доминирующее положение на транспорте, в том числе водном.

Некогда СССР входил в список государств, обладавших развитыми судостроительством, и во второй сфере достойно конкурировал с Англией, Италией, США, Швейцарией, Японией, Финляндией. Тогда функционировал отечественный промышленный комплекс, включавший 14 заводов с большими мощностями по производству двигателей, 3 научно-

Поколения тепловых двигателей отечественных производителей

Таблица 1

Тип ЭУ	Тепловые двигатели		
	I поколение (1945-1960 г.)	II поколение (1960-1975 г.)	III поколение (1975-1990 г.)
ГТЭУ, ГТД	М2, М3 (КПД $\eta < 0,15$)	ДТ-59, М5, М7 ($\eta < 0,27$)	М75, М70, М90 ($\eta < 0,34$)
ДЭУ	37Д, 30Д, 40ДМ ($\eta < 0,37$), М50, М503 ($\eta < 0,37$), 47В-16 ($\eta < 0,36$)	Д42, Д43 ($\eta < 0,38$), М401А, М504 ($\eta < 0,38$), Д61, Д58 ($\eta < 0,37$)	Д49, Д56 ($\eta < 0,40$), 470М, М507, ДРА510 ($\eta < 0,39$), 68, 86 ($\eta < 0,39$), ДМ21 ($\eta < 0,41$)
КТЭУ, главные котлы, ГТЗА	КВ-76, ТВ-8 ($\eta < 0,15$)	КВН-95, ТВ-12 ($\eta < 0,16$)	КВГ-3, ГТЗА-674 ($\eta < 0,18$)

Характеристики двигателей ПАО «Звезда»

Таблица 2

Марка двигателя	Число цилиндров	Мощность, кВт, (частота вращения, мин ⁻¹)	Области применения
Главные судовые двигатели и агрегаты гражданского назначения			
М532	42	2940 (2200)	Скоростные суда
М532А	42	1985 (1800)	Скоростные суда
ДРА-532А	42	2074 (1800)	Скоростное пассажирское судно «Олимпия»
М-533	56	3676 (2000)	Катер таможенного контроля пр. 14232 «Меркурий»
М-534	56	3675 (2000)	Скоростные суда
Главные судовые дизельные двигатели и агрегаты специального назначения			
М503А	42	2940 (2000)	Скоростной десантный катер пр. 11770 «Серна»
М503Б	42	1840 (1780)	Морской тральщик пр. 266М «Аквамарин»
М504А	56	3495 (1950)	Базовый тральщик пр.1256 «Топаз»
М504Б	56	3675 (2000)	Пограничный сторожевой катер пр. 205П «Тарантул»
М510А	56	3530 (2000)	Ракетный катер пр. 1241.1 «Молния-1»
М517	56	4750 (2000)	Ракетный катер пр. 205ЭР

Характеристики двигателей ПАО «Звезда» Таблица 2. Продолжение

Марка двигателя	Число цилиндров	Мощность, кВт, (частота вращения, мин ⁻¹)	Области применения
M520	56	3600 (2000)	Скоростной патрульный катер пр. 10410 «Светляк»
M520Б	56	3970 (2000)	Скоростной патрульный катер пр. 10310 «Мираж»
M507А	2x56	7355 (2000)	Десантный катер пр. 21820 «Дюгонь»
M507Д	2x56	5882 (2000)	МАК пр. 21630 «Буян»
M511А	2x56	7355 (2000)	МРК пр. 1239 «Сивуч»
M521	2x56	6323 (2000)	МК пр. 1234Э «Овод-Э»
Главные судовые двигатели и агрегаты гражданского назначения			
M401А3	12	810 (1600)	Суда на подводных крыльях пр. 342 «Метеор», пр. 342М «Комета»
M417А	12	810 (1600)	Модернизация СПК пр. 342 «Метеор»
M419А	12	890 (1600)	Пожарное судно пр. 16640 «Выон», СПК пр. 03521 «Восход-2М» и др.
M419Б	12	890 (1600)	Судно экологического контроля пр. 16220 «Эколог»
ДРА-210В	12	885 (1600)	Морской пассажирский теплоход пр. 10110 «Звезда»
M470	12	1100 (1600)	Морской патрульный катер пр. 18627 «Мустанг»
M470М	12	1100 (1600)	Морской патрульный катер пр. 18523 «Мустанг-2»
M470МК	12	1100 (1600)	Патрульный катер пр. 12150М «Мангуст»
M480	6	550 (1600)	Скоростные катера ВМФ и ПС ФСБ, быстроходные пассажирские речные и морские суда, патрульные и иные катера специального назначения, яхты малого и среднего возмещения
M482	12	810 (1600)	Пассажирское СПК пр. 23180 «Валдай 45Р»
Главные судовые дизельные двигатели и агрегаты специального назначения			
M401Б	12	810 (1600)	Пограничные катера пр. 14081 «Сайтак», пр. 1500 «Гриф»
ДРА-210Б	12	810 (1600)	Базовый тральщик пр. 1265 «Яхонт»

исследовательских института, специализированные конструкторские бюро. К сожалению, на сегодняшний день наша страна не обладает былым потенциалом. Однако если национальное правительство уделит надлежащее внимание отрасли, есть шанс вернуть утраченные позиции. Нынешнее состояние отечественного дизелестроения проанализировано в статье [4].

Вопрос о возрождении данной области в нашей стране встал остро после введения против нее санкций рядом европейских государств, что привело к серьезной нехватке новых двигателей, которые могли бы быть спроектированы и

затем сконструированы непосредственно в России.

Между тем, благодаря реализации государственной программы, направленной на развитие дизелестроения, произошло восстановление некоторых предприятий, и как следствие, удалось нарастить производственные мощности.

За последние годы усилиями специалистов «Коломенского завода» и объединения «Пензадизельмаш» был создан дизельный двигатель модели ЧН26,5/31 (проектная цилиндровая мощность при частоте вращения коленчатого вала 1100 мин.⁻¹ составила 330 кВт). Машина разрабатывалась для замены уста-

ревших агрегатов в составе корабельных и судовых ЭУ, но в серию он до сих пор не запущен.

Единственным предприятием, изготавливающим высокооборотные судовые дизели (их технические характеристики перечислены в таблице 2), является ПАО «Звезда». На предприятии внедрены технологии, позволяющие выпускать машины с маломощными свойствами.

В качестве перспективных в данном контексте следует рассматривать ООО «Уральский дизель-моторный завод» (производит дизели мощностью от 550 до 2,5 тыс. кВт) и ОАО «Коломенский завод» (дизели мощностью от 450 до 2800 кВт, с

Таблица 3

Характеристики двигателей типа Д49 8ЧН26/26 и 8ГДЧН26/26 (V-образное исполнение)

Тип дизеля/ дизель-генератора (с дизелем модификации 8ЧН26/26), г/(кВт·ч)	Назначение и область применения	Диапазон Ne, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹	Удельные расход топлива, г/(кВт·ч)	Удельный расход масла
22ДГМ	Судовой вспомогательный в составе энергетической установки	800	1000	192,0	1,19
28ДГ	Главная судовая энергетическая установка	1250	1000	191,0	1,47
Тип дизеля/ дизель-генератора (с дизелем модификации 16ЧН26/26) 10Д49	Главный судовой двигатель для работы с винтом фиксированного шага через реверс-редукторную передачу в составе дизель-газотурбинного агрегата ДГТА (55МР)	3825	1000	199,5	1,05
16Д49	Главный судовой двигатель для работы с винтом фиксированного шага через реверс-редукторную передачу в составе дизель-дизельного агрегата 1ДДА 12000	4412	1100	199 (146,3)	1,01

Технические характеристики дизеля типа Д600К

Таблица 4

Показатель	Перспективные западные конструкции	Предлагаемая конструкция 12ЧН 26,5/31	Прогнозируемый показатель
Агрегатная мощность, кВт: Локомотивный, Судовой, Атомная станция	4412 7200 6200	≤ 4412 ≤ 7362 6200	≤ 4412 7352 6200
Частота вращения, мин ⁻¹	900-1000	900-1000	900-1000
Степень форсирования по рабочему процессу, МПа	2,08-2,65	2,58	2,7
Удельный расход топлива, г/(кВт·ч): Локомотивный, Судовой, Атомная станция	185-191 195-198 200-203	184-185 184-185 199-202	184-185 184-185 199-202
Удельный расход масла на угар, г/(кВт·ч)	0,45-0,6	0,5-0,4	0,35-0,4
Удельная масса, кг/кВт	5,2-5,95	5,0-5,5	5,0-5,5
Ресурс до капитального ремонта, тыс. ч	24-50	60	60

ресурсом до первой переработки – около 15 тыс. ч, таблица 3).

В таблице 4 приведено сравнение параметров дизеля четвертого поколения Д600К и иностранных аналогов.

Примечательно, что при создании этого агрегата планируется использовать большое количество зарубежных комплектующих (таблица 5), что лишний раз указывает на актуальность проблемы импортозамещения.

К числу ведущих отечественных изготовителей судовых дизелей,

безусловно, относится предприятие «Пензадизельмаш», которое за время своего существования выпустило более 3000 агрегатов, до сих пор эксплуатирующихся на различных теплоходах в России, в том числе на лайнере «Шота Руставели» и исследовательском судне «Академик Сергей Королев». К настоящему моменту завод завершил разработку двигателя Д200 мощностью от 550 до 1600 кВт, который будет выпускаться в модификациях с 4, 6, 8 цилиндрами.

Завод «Волжский дизель им. Маминых» сейчас занимается созданием для флота дизель-реверс-редукторных установок мощностью от 300 до 1300 кВт.

ОАО «Румо», расположенное в Нижнем Новгороде, выпускает дизели мощностью от 250 до 1300 кВт, разрабатывает ГТЭ предполагаемой мощностью от 550 до 1100 кВт, осуществляет поставки силовых агрегатов на базе двигателей ЧН22/28 и ЧН32/40.

Предприятие «Барнаултрансмаш» серийно производит высокообо-

Запчасти		Фирма (страна)
Шатуны и коренные подшипники	----->	«Zollem BHW» (Германия)
Поршни	----->	«Kolbenschmidt GmbH» (Германия)
Поршневые кольца	----->	«Federal Mogul» (Германия)
Турбокомпрессоры	----->	«ABB» (Швейцария)
Управляющие модули топливных насосов	----->	«Bosch» (Австрия)
Электронные микропроцессорные системы управления, датчики, кабели	----->	«Heinzmann» (Германия)
Блок цилиндров из чугуна с кутельграфитом	Изготовление ----->	«SWH» (Германия)
Крышка цилиндров из чугуна с кутельграфитом	Отливка ----->	«SWH» (Германия)
Коленчатый вал из ленированной стали	Штамповка ----->	«Schmiedewerke» (Германия)

Таблица 6

Технические характеристики малооборотных дизелей зарубежного производства

Фирма-изготовитель	Тип дизеля	Диаметр цилиндра/ход поршня, мм	Количество цилиндров	Цилиндровая мощность, кВт (min/max)	Частота вращения, мин ⁻¹ (min/max)	Среднее эффективное давление, МПа (min/max)	Агрегатная мощность, кВт (min/max)
«MAN»	L42MC	420/1360	4-12L	640/995	141/176	1,4/1,8	2560/11940
«B&W»	L35MC	350/1050	4-12L	440/650	178/210	1,47/1,84	1760/7800
«Diesel AG»	S26MC	260/980	4-12L	270/400	212/250	1,48/1,85	1080/4800
«Mitsubishi»	UEC33SII	330/105	4-8L	/556	162/215	-/1,8	1230/4530
«Heavy Industries»	UEC37LA	370/880	4-8L	/520	158/210	-/1,56	1120/4160

Таблица 7

Технические характеристики высокооборотных дизелей зарубежного производства

Фирма-изготовитель	Тип дизеля	Цилиндровая мощность, кВт (min/max)	Частота вращения, мин ⁻¹ (min/max)	Среднее эффективное давление, МПа (min/max)	Агрегатная мощность, кВт (min/max)
«Caterpillar Inc.»	3606/C280	386/454	9000/1000	2,0/2,28	2320/3634
	MaK M20C	170/190	900/1000	2,41/2,42	1020/1710
«Daihatsu Diesel Mfg. Co Ltd»	DC-17	101,7	1000	2,21	480/610
«Yanmar Co., Ltd»	6N18L	66,7/110	1000		400/660
	N21L	102,5/170	1000		615/1360
«Wartsila Co.»	Wartsila 20/	200	1000	2,80	720/1800
	Wartsila 26.	340	1000	2,65	1860/5440

ротные дизели с размерностями 16/19, 16/16 и 17/17. В качестве главного судового двигателя применяется дизель ЗКД13Н-531Р (при частоте вращения коленчатого вала 1600 мин⁻¹ имеет максимальную мощность 440 кВт). Завод выпускает главные судовые двигатели типа ЗД7 (115 кВт, 1600 мин.⁻¹), ЗД7Н-235 (165 кВт, 1600 мин.⁻¹), ЗД13 (150 кВт; 1600 мин.⁻¹), а также двигатель ЗКД6СН-350 (260 кВт, 1600

мин.⁻¹), модификации судовых дизелей ЗД24, ЗД39, ДУ-ЗД22 с 6, 8, 10, 12 и 20 цилиндрами.

Алтайский моторный завод изготавливает дизели мощностью от 80 до 250 кВт; на базе 4-цилиндровых двигателей производит судовые дизели обновленных моделей Д-457 и Д-3053 соответственно с 2- и 4-клапанной головкой цилиндра.

Ощутимую конкуренцию российскому бизнесу составляют зарубеж-

ные организации. На сегодняшний день действуют около 15 ведущих иностранных фирм, изготавливающих средне- и высокооборотные дизели (таблицы 6 и 7), которыми оснащается отечественный флот, в том числе: MAN Diesel, Wdrtsild Corp, S.E.M.T. Pielstick, MWM Motores Diesel Ltd, Caterpillar Inc. (США) и Caterpillar Motoren (Германия), Mitsubishi Heavy Industries, Volvo Penta, Cummins и др. При этом один

Сравнение характеристик судовых дизелей

Таблица 8

Показатель	Заменяемый дизель ОАО «РУМО» Г74 6ЧРН 36/45	Аналоги		
		ОАО «РУМО» 8G22D1 6ЧН 22/28	ОАО «Коломенский завод» 8ЧН 26/26	«Caterpillar Inc.» MaK M20C 6ЧН 20/30
Номинальная мощность, N_e , кВт	1150	940	1250	1140
Номинальная частота вращения коленчатого вала, n , мин ⁻¹	500	1000	1000	1000
Число цилиндров, i	6	6	8	6
Диаметр цилиндра, D , мм	360	220	260	200
Ход поршня, S , мм	450	280	260	300
Габариты, мм: длина L / Ширина B / Высота H	4558/1465/ 3121	3465/1100/1985	2220/1565/2420	3150/1558/2040
Сухая масса двигателя с маховиком, $M_{дв}$, кг	28900	13000	10500	10700
Удельный расход топлива, g_f , г/(кВт·ч)	202	195	190	190
Удельный расход масла, g_m , г/(кВт·ч)	1,22	1,22	1,05	0,6
Удельные средневзвешенные выбросы токсичных компонентов с отработавшими газами на режиме номинальной мощности, г/(кВт·ч): оксиды азота / оксид углерода / углеводороды	12,5/ 2,5/ 0,2	6,2/ 0,5/ 0,2	13/ 0,4/ 1	11,2/ 0,6/ 0,3
Назначенный ресурс, тыс.ч: непрерывной работы T_1 / до 1-й переработки, T_2 / до капитального ремонта, T_3	12,5/ 2,5/ 12,5	6,2/ 0,5/ 6,2	13/ 0,4/ 13	11,2/ 0,6/ 11,2

агрегат востребованной мощности может быть создан сразу 4-6 различными компаниями.

Для корректной оценки технического уровня развития конкретного двигателя нужно оперировать достаточно большим количеством его характеристик, позволяющих определять экономические и экологические параметры его работы.

В ходе сравнительного анализа российских и зарубежных машин (таблица 8) по методике, описанной в [5, 6], был выполнен расчет эффективного КПД, показателей топливной и масляной экономичности, токсичности и дымности отработавших газов, а также массогабаритных показателей для заменяемого дизеля Г74, широко используемого на речных судах, и его перспективных аналогов.

Таким образом, передовые раз-

работки отечественных предприятий имеют технический уровень, значительно превышающий таковой у заменяемого агрегата, но при этом несколько уступают зарубежному.

Полученный результат свидетельствует о необходимости продолжения деятельности по совершенствованию конструкции и рабочего процесса российских дизелей с целью повышения их конкурентоспособности и расширения области применения при модернизации и строительстве флота.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Олейников Б.И. Энергетические установки и электрооборудование судов. Ч.1 Судовые энергетические установки. – СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова, 2017. – 748 с.
2. Никитин В.С., Половинкин В.Н., Барановский В.В. Современное состояние и перспективы

развития отечественных корабельных дизельных энергетических установок // Труды КГНЦ, 2017. – № 2 (380). – С. 70-91.

3. Ерофеев В.Л., Жуков В.А., Мельник О.В., Безюков О.К., Ерофеева Е.В., Мартынов А.А. Управление энергоэффективностью объектов морской техники и судовых двигателей внутреннего сгорания. – СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова, 2018. – 184 с.
4. Состояние и перспективы судового двигателестроения в России / Безюков О.К., Жуков В.А. // Вестник АГТУ (серия «Морская техника и технология»). 2017. – № 2. – с.40-53.
5. Оценка технического уровня и качества дизелей / Безюков О.К., Первухин Д.А., Ивашин И.В. // Двигателестроение. 2009. – № 2(236). – с.52.
6. Методы оценки научно-технического уровня судов, энергетических установок и контрольно-измерительных приборов / Безюков О.К., Денисова А.А. // Вестник ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. 2015. – № 5(33). – с.119-130.

АННОТАЦИИ

Техногенная трансформация русла р.Обь в нижнем бьефе Новосибирского гидроузла и ее влияние на состояние водного пути / Чалов Р.С., Павлушкин С.В., Беркович К.М., Рулева С.Н. // Речной транспорт (XXI век). 2021. – № 4(100). – с. 30-35.

Анализируются негативные последствия техногенных нагрузок на русловые процессы, приведших к утрате результатов коренного выправления русла в 1960-80-е годы и ухудшению условий судоходства на р.Обь.

Ключевые слова: техногенное воздействие, русловые процессы, река, судоходство.

Контакты: rschalov@mail.ru, pavlushkin@cn.ru, berkovich@yandex.ru, mnks1@yandex.ru

Проблемы дефектоскопии в отечественном судоремонте и пути их решения / Бурмистров Е.Г., Кромов Д.А., Уласов А.М., Щеголева О.А. // Речной транспорт (XXI век). 2021. – № 4(100). – с. 36-40.

Рассматриваются проблемы дефектоскопии в отечественном судоремонте с точки зрения обеспечения послеремонтной надежности судов как сложных плавучих технических систем; предлагаются варианты их решения.

Ключевые слова: судоремонт, отказы, дефектация, остаточный ресурс, надежность.

Контакты: burmistrov_e_g@mail.ru, dkromov15@gmail.com, silenhunter28@mail.ru, shh151@mail.ru

Применение взрыва при ремонте деформаций корпуса судна / Арабьян Л.К., Григорьев Е.А., Мензилова М.Г. // Речной транспорт (XXI век). 2021. – № 4(100). – с. 44-45.

Описываются результаты исследований возможности использования энергии взрыва для устранения деформаций листовых элементов при строительстве и ремонте металлических конструкций корпуса судна. Достоверность приведенных данных подтверждена длительными эксплуатационными испытаниями на флоте Западно-Сибирского речного пароходства.

Ключевые слова: энергия взрыва, остаточные деформации корпуса судна, взрывчатые вещества.

Контакты: ktuk@nsawt.ru, e.a.grigorev@nsawt.ru, AGEM0492@yandex.ru

Оценка уровня загрязнения воздуха в мегаполисе (на примере г.Новосибирск) автомобильным и водным транспортом в зависимости от различных факторов / Панов Д.В., Рослякова О.В., Кудряшов А.Ю., Егорова Е.В., Панова А.Н., Шильникова Е.А. // Речной транспорт (XXI век). 2021. – № 4(100). – с. 46-49.

Приводятся результаты натурных измерений концентрации вредных веществ в атмосфере в районе порта г.Новосибирск и прилегающей жилой застройки; натурных опытов и 3D-моделирования рельефа местности. Рассмотрены примеры влияния особенности территории на распространение поллютантов от автомобильного и водного транспорта.

Ключевые слова: транспортный поток, загрязняющие вещества, рельеф, поллютанты, 3D-моделирование.

Контакты: d.v.panov@nsawt.ru, o.v.roslyakova@nsawt.ru, a.y.kudryashov@nsawt.ru, kati_angel08@mail.ru, aleksagri321@gmail.com, e.a.shilnikova@nsawt.ru

Модульный принцип проектирования транспортных систем доставки грузов по рекам Сибири / Масленников С.Н., Синицын М.Г. // Речной транспорт (XXI век). 2021. – № 4(100). – с. 49-52.

Рассматриваются направления развития мобильных технологий доставки грузов внутренним водным транспортом. Проводится анализ и предлагается состав модулей мобильного транспортно-перегрузочного комплекса.

Ключевые слова: внутренний водный транспорт, Обь-Иртышский бассейн, речные перевозки, мобильные технологии.

Контакты: s.n.m@bk.ru, Mihail_sinitsyn@mail.ru

Лабораторные исследования кинематики потока при устройстве дноуглубительной прорези / Пилипенко Т.В., Калашников А.А. // Речной транспорт (XXI век). 2021. – № 4(100). – с. 52-55.

Рассматривается параметр устойчивости дноуглубительной прорези. Для повышения ее устойчивости предлагается гидравлическая модель, позволяющая проверять выбранную конфигурацию прорези.

Ключевые слова: река Обь, дноуглубительные работы, устойчивость дноуглубительной прорезей, гидравлическое моделирование.

Контакты: taniavp_2005@rambler.ru, aakalashnikovpigts@yahoo.com

Применение аддитивных технологий при исследовании взаимодействия судового якоря с грунтом / Кочнев Ю.А., Кочнева И.Б., Костерина С.Д. // Речной транспорт (XXI век). 2021. – № 4(100). – с. 55-57.

Оценивается возможность применения аддитивных технологий для проведения испытаний судовых устройств. Подробно рассматривается принцип определения держащей силы якорей из ABS-пластика в лабораторных условиях.

Ключевые слова: якорь, испытания, держащая сила, аддитивные технологии.

Контакты: tmnknkoch@mail.ru, iringre@mail.ru, kocter-c@mail.ru

Сравнительная оценка уровня технического развития судовых дизелей / Жуков В.А., Гомбалецкий А.Н. // Речной транспорт (XXI век). 2021. – № 4(100). – с. 57-62.

Анализируются и оцениваются уровень технического развития, эксплуатационные и экологические характеристики судовых дизелей российского и зарубежного производства.

Ключевые слова: судовая энергетическая установка, дизель, уровень технического развития.

Контакты: va_zhukov@rambler.ru, kaf_sdvs@gumrf.ru