



УДК 629.122/.123.004.67(083)

Балашова Анастасия Николаевна, магистрант ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Зяблов Олег Константинович, доцент, к.т.н., доцент кафедры проектирования и технологии постройки судов ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»)

603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА СПЕЦИАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ СПК

Ключевые слова: судостроение, судоремонт, суда на подводных крыльях (СПК), дефекты конструкций.

Аннотация. Важную роль в повышении эффективности работы и долговечности конструкций играет предотвращение нежелательных повреждений и проработка уже имеющихся проблем, возникающих при эксплуатации СПК.

В первые годы эксплуатации судов на подводных крыльях были выявлены конструктивные недостатки, устранение которых требовало больших затрат труда и средств, а самое главное, приводило к простоям или полному выводу судна из эксплуатации. Недостатки конструкций являлись следствием недостаточной проработки, неправильным выбором материала или оборудования на начальных этапах постройки СПК. За годы эксплуатации были накоплены данные, помогающие так или иначе избежать серьезных дефектов при эксплуатации таких судов.

Рассмотрение характерных повреждений конструкций корпусов судов типа СПК, изготовленных из алюминиевого сплава АМгб1, показывает, что подавляющее число разрушений возникает в сварных соединениях. Трещины, распространяющиеся по основному металлу, встречаются редко [1].

Основная масса повреждений сосредоточена в узлах пересечения продольного набора с поперечным. Трещины по сварным швам наружной обшивки обнаруживаются в узлах, где сходится большое число сварных швов или в местах приварки к обшивке отдельных конструктивных элементов, когда швы привариваемых элементов пересекаются друг с другом. Так возникали случаи перехода на обшивку трещин, возникающих в связях набора.

Изучение структуры металла поврежденных сварных швов, а также в трещинах по основному металлу конструкций свидетельствует об усталостной природе повреждений. В частности, ни в одном из поврежденных узлов или соединений не было зафиксировано наличие пластических деформаций. Основной причиной возникновения усталостных повреждений конструкций являются конструктивные и технологические концентраторы, а также внутренние напряжения, возникающие в процессе сборки конструкций.

К конструктивным концентраторам напряжений относятся узлы пересечения продольного набора с поперечным и переборками, места окончания продольного набора, а

также вырезы в балках набора, обшивке борта и настиле палубы, прерывистые швы и т.п. В корпусе судна типа СПК, набранном по обычной продольной системе набора, наибольшее число повреждений наблюдалось в узлах пересечения продольных ребер жесткости со шпангоутами (рис.1). Ребра жесткости разрезают на шпангоутах, и крепление их к шпангоутам осуществляют с помощью сварных тавровых соединений, теоретический коэффициент концентрации которых в зависимости от вида разделки кромок привариваемого элемента находится в пределах $K=1,2\div 3,4$.

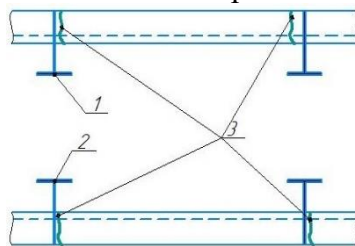


Рис.1. Трещины в сварных швах, соединяющих разрезные ребра жесткости со стенками поперечных связей. 1 - бимс; 2 - шпангоут; 3 - трещина.

В конструкции корпусов судов типа СПК, выполненных по навесной продольной системе набора, наиболее слабыми являются узлы пресечения стрингеров со шпангоутами и карлингсов с бимсами (рис.2). Для этих соединений при непосредственной перевязке полок теоретический коэффициент концентрации напряжений равен $K=3\div 4$, а в случае установки книц снижается до $K=2\div 3$.

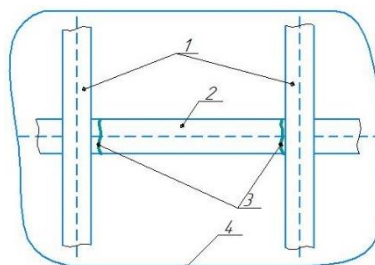


Рис.2. Разрушение сварных швов, соединяющих полки стрингеров и шпангоутов. 1 - шпангоуты; 2 - стрингер; 3 - трещина; 4 - обшивка.

Характерными являются повреждения в соединениях, выполненных с помощью различного вида книц: соединения элементов поперечного набора (рис.3, а), перевязка продольного набора на поперечных связях (рис.3, б). Коэффициенты концентрации таких соединений находятся в диапазоне $K=2\div 3$.

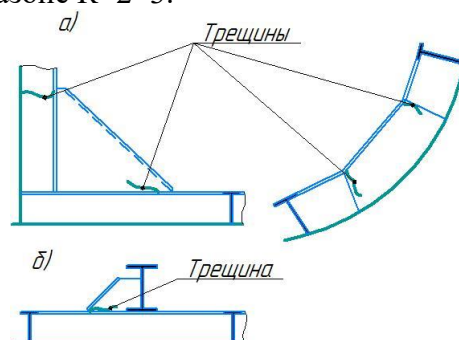


Рис.3. Трещины в конструкциях с кничными соединениями:

а - соединение элементов поперечного набора; б - перевязка продольного набора на поперечных связях.

Повреждения по стыковым соединениям балок набора происходят как в случае совмещения стыков по полке и стенке, так и в случае их разнесения по длине балки. При этом наибольшее число повреждений относится к районам оконечности корпуса, где имеются резкие изменения сечений продольных связей. Наблюдаются также повреждения

стенок поперечных связей в местах прохода продольных ребер жесткости (рис.4, а) и в местах притыкания этих ребер к поперечным переборкам без перевязки с балками набора (рис.4, б). Предел выносливости такой конструкции из-за неудачного оформления прохода ребер снижается в полтора-два раза.

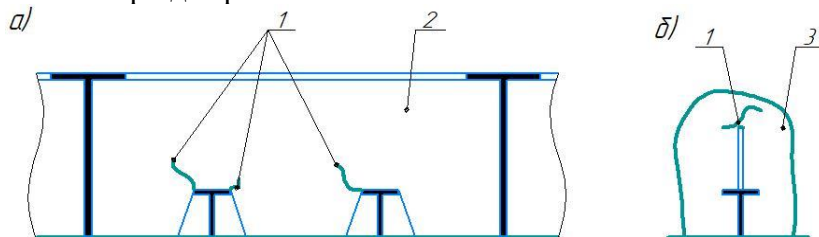


Рис.4. Трещины в углах вырезов для прохода ребер жесткости через шпангоуты (а), в местах присоединения ребер к переборкам (б). 1 - трещина; 2 - шпангоут; 3 - поперечная переборка.

Источником концентрации напряжений являются прерывистые швы присоединения набора к обшивке и настилам палуб. Использование этих швов обусловлено необходимостью снижения деформаций обшивки от сварки (образование бухтин, погибей). Повреждения этих соединений наблюдается весьма часто, особенно в районах установки носового и кормового крыльевого устройства, причем разрушение, как правило, начинается с валиков шва, расположенных вблизи опор балок набора. Следует отметить, что у клепаных корпусов СПК переменный характер нагрузок ослабляет клепаные соединения, вследствие чего появляется водотечность, а также происходит интенсивный коррозионный износ конструкций. Наибольшее ослабление отмечается в районе установке крыльевого устройства. В основном, как показывает анализ полученных данных, трещины возникают с разрушением полых элементов крыльевого устройства (сварные соединения обшивки с заполнителями и ребрами жесткости). Трещины, конечно, возникали и по основному металлу, но это было крайне редко, что можно объяснить плохим качеством материала, либо следствием аварийных ситуаций (удары о другие предметы и пр.).

Наибольшее число повреждений крыльевого устройства относится к стыковым соединениям обшивки с заполнителями или утолщёнными листами в районе стоек, выполняемым односторонними швами на технологической подкладке, а также к соединениям непосредственно обшивки крыла со стойками.

Эффективный коэффициент концентрации этих соединений, характеризующий снижение выносливости сварных соединений по сравнению с основным материалом, равен $K_{\sigma} = 3 \div 4$. Величина действующих напряжений от изгиба обшивки давлением воды, составляющая $(0,2 - 0,3)\sigma_T$ оказывается выше предела выносливости соединений, что приводит к их ограниченной долговечности.

Подавляющее число трещин расположено на верхней засасывающей поверхности крыла, обшивка которой в связи с разрежением выгибается наружу. При переменном характере воздействия этого давления сварные швы оказываются подверженными действию нагрузки, изменяющейся по асимметричному циклу с растягивающими средними напряжениями в корне шва. Усталостные характеристики рассматриваемых односторонних соединений, выполненных без подварки корня шва, существенно снижаются при указанной выше схеме деформации. На нижней нагнетающей поверхности крыла в корне шва односторонних сварных соединений действуют сжимающие напряжения, вследствие чего повышается выносливость соединений. Поэтому трещины на этой поверхности наблюдаются значительно реже. Кроме того, характерными являются трещины в сварных соединениях стоек с несущей плоскостью в районе кромок, где они имеют острые окончания. Усталостные трещины были обнаружены также на стойках и кронштейнах крыльевых устройств. Повреждения этих конструкций связаны с наличием большого количества односторонних и прерывистых швов.

Как в корпусных конструкциях, так и в крыльевом устройстве подавляющее число трещин возникает в сварных швах, содержащих производственные дефекты - плохо

заделанные швы, непровары, подрезы, и т.п. Для конструкций крыльевого устройства вероятность производственных дефектов усугубляется применением ряда соединений, качество выполнения которых не может быть проконтролировано существующими способами (швы, накладываемые в последнюю очередь, после завершения сборки конструкции).

Причинами повреждений являются также нарушения технических условий на сборку конструкций. К таким нарушениям относятся стыковка в разных плоскостях поясков и стенок продольных и поперечных связей, установка книц не в плоскости стенок соединяемых балок и т.п. Большинство таких соединений, как правило, подвергается разрушению. Для крыльевых устройств эти нарушения являются наиболее опасными, поскольку после сварки производят подгонку поверхности по профилю, что может привести в отдельных случаях к недопустимому утонению листов и снятию металла шва.

Подавляющее число повреждений отмечается в сечениях с большими местными напряжениями. Поэтому повышение усталостной прочности конструкций корпусов и крыльевых устройств может быть осуществлено путем применения наиболее эффективных соединений, а также отработки рациональных конструкций в целом, обеспечивающих снижения концентрации напряжений. Понижение уровня номинальных напряжений путем увеличения размеров сечений элементов является менее рациональным способом. Опыты в различных областях техники свидетельствуют о перспективности пути совершенствовании конструктивного оформления узлов и соединений, позволяющего значительно повысить эксплуатационную прочность конструкций практически без увеличения их массы.

К повреждениям крыльевых устройств, вызванных естественным износом и особенностями условий эксплуатации, относят, прежде всего, эрозионные раковины носовых и кормовых крыльев, а также трещины и разрушения под действием различных нагрузок.

Для выявления нарушений в геометрии крыльевых устройств судно необходимо установить на ровный киль (без крена и дифферента) и проверить следующие параметры (рис.5.):

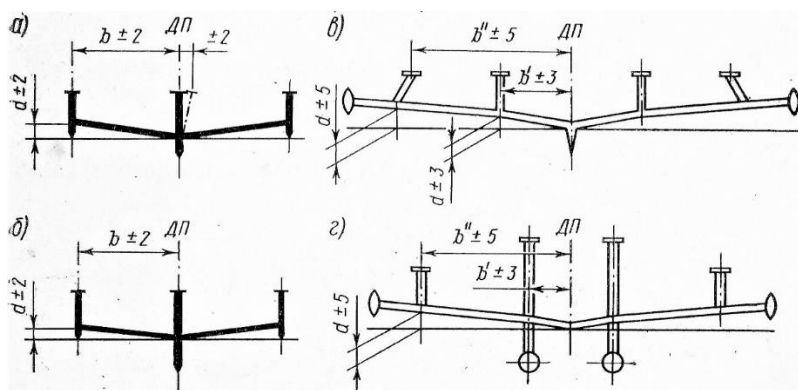


Рис.5. Контролируемые геометрические параметры крыльевых устройств (носовое и кормовое крылья судов типа СПК)

- равномерность и симметричность наклона плоскости крыла относительно горизонтальной плоскости (килеватость); совпадение оси симметрии крыльев с ДП корпуса;
- допускаемое отклонение ± 5 мм при замере размеров b , b' и b'' правого и левого бортов;
- разворот плоскостей относительно ДП, допускаемое отклонение ± 5 мм на ширине крыла;
- расположение крыльев по длине корпуса, допускаемое отклонение ± 5 мм;
- установочные углы α^k и α^h к крыльевой линии в сечениях, симметричных ДП (рис. 6);

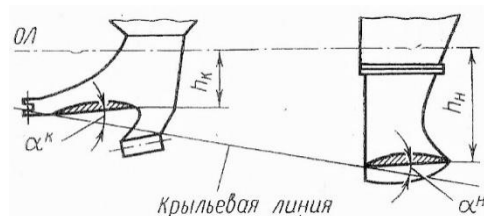


Рис.6. Замеры установочных углов и возвышения плоскостей крыльев

- за крыльевую линию принимают прямую, соединяющую задние кромки плоскостей носового и кормового крыльев при соблюдении параллельности ее ДП;
- отстояние носка носового и кормового крыльев h_H и h_K от ОЛ и ДП;
- допускаемое отклонение ± 5 мм;
- зазор между фланцами стоек и планшетов.

После проверки геометрических параметров осматривают и дефектуют профили крыла и стоек, контролируя при этом:

- лекальные поверхности плоскости крыла, стоек и концевых шайб;
- неприлегание шаблона не должно превышать 1,5 мм;
- непрофилированные поверхности стоек и плоскости крыла, неприлегание проверочной линейки не более 0,8 мм;
- плоскостность крыльев по размаху, допускаемые отклонения не более 4 мм;
- лекальные и непрофилированные поверхности закрылков, неприлегание шаблона и линейки не более 3 мм;
- прямолинейность передних и задних ножевых кромок у носовых и кормовых плоскостей крыльев;
- неприлегание проверочной линейки длиной 1 м не должно превышать 0,5 мм.

Для устранения погнутости и вмятин на плоскостях крыльев, выполненных из нержавеющей стали при малых погибах (до 5 мм на 1 м) плоскостей применяют тепловой безударный метод правки, а при значительных — механический и комбинированный.

Тепловой безударный метод состоит в том, что на поверхности бухтины нагревают ограниченные участки (полосами или пятнами), а затем охлаждают водой или воздухом. Возникающие при этом необратимые пластические деформации сжатия приводят к укорочению волокон металла и устранению бухтины. Схема нагрева, размеры полос и пятен показаны на рис. 7. Цифрами и стрелками указаны направление и порядок нагрева по рядам.

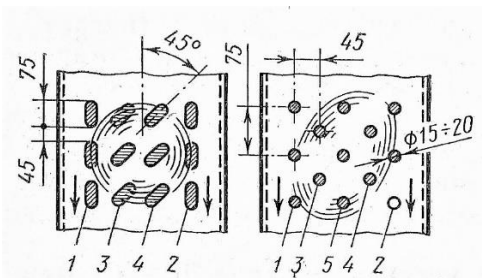


Рис.7. Схема нагрева при правке бухтин на плоскости крыла

При толщине металла менее 4 мм рекомендуется нагрев пятнами. При большей его толщине и ребристой конструкции (плоскости крыльев с нервюрами) нагрев лучше производить полосами и штрихами. Предпочтителен нагрев ацетилено-кислородным пламенем.

Максимальная температура нагрева металла 1000°C, минимальная 600°C, контролируется термокарандашами.

Для механических воздействий применяют ударный инструмент приспособления типа «рыбий хвост», домкраты, скобы, клинья. Для контроля качества правки используют линейки, бухтиномеры и профильные шаблоны.

Так как профильные шаблоны следуют очень сложной проработки сложно упростить данный процесс.

При правке крыльевых конструкций следует избегать нагрева сварных швов и околошовной зоны свыше 300°C .

Описанные способы правки крыльев не всегда дают удовлетворительные результаты. При значительных вмятинах, трещинах и разрывах часто приходится удалять деформированные участки обшивки крыльев и заменять их новыми. Допускается также правка выпучин с разрезами листа, который после сварки заваривают и зачищают шлифовкой.

Устранение трещин — самый распространенный вид ремонта крыльевых устройств. Трещины могут появляться на любых деталях крыльевых устройств (рис. 8).

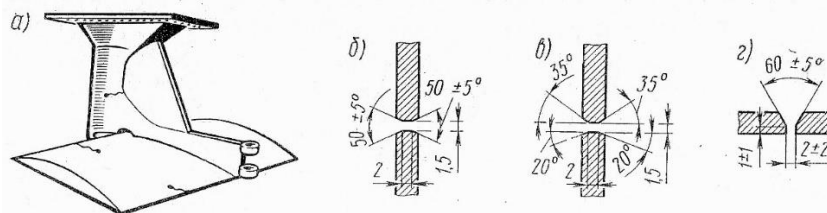


Рис. 8. Устранение трещин на крыльях и стойках.

Процесс устранения трещин включает такие операции: засверловку и зенковку отверстий диаметром 6—8 мм на концах трещины; разделку кромок пневмозубилом или воздушно-дуговой строжкой; очистку и обезжиривание кромок металла в местах наложения швов; покрытие околошовной зоны защитным слоем каолина или асбеста; заварку трещины со стороны разделки с последующей зачисткой шва после сварки; вырубку контрольной канавки и подварку корня шва; зачистку швов заподлицо с плоскостью стойки и крыла; черновую и чистовую шлифовку в местах ремонта.

Кромки разделяют с углами, указанными на рис. 10.6, б — для вертикальных швов; на рис. 8, в — для горизонтальных швов и на рис. 8, г — для нижних швов.

Сварку производят при температуре окружающего воздуха не ниже -10°C с защитой места работы от ветра и осадков. Силу тока ручной сварки выбирают в зависимости от положения шва и диаметра электрода по таблице.

Для повышения работоспособности конструкции крыльевых устройств применяют специальные технологические методы, с помощью которых удается снизить растягивающие статические напряжения и уменьшить коэффициент концентрации.

Растягивающие напряжения уменьшают применением «тепловых домкратов» и поверхностного упрочнения. Тепловые домкраты создают за счет нагрева концов соединения до $800-900^{\circ}\text{C}$. Напряжения сжатия, вызываемые тепловыми домкратами, в районе концентраторов повышают усталостную прочность сварных соединений.

Наиболее простым и не требующим больших затрат является метод поверхностного проколачивания. Остаточные сжимающие напряжения в поверхностном слое металла, созданные проколачиванием, увеличивают плотность дислокаций, уменьшая тем самым вероятность образования усталостных микротрещин при вибрационных нагрузках.

Поверхностное проколачивание производят так, чтобы не было глубоких вмятин и поверхность была гладкой. Проколачивание выполняют обычными пневматическими молотками для рубки и чеканки, снабженными специальным бойком.

При дефектации крыльевых устройств, а также при ремонте корпуса в их районе приходится производить в полном объеме проверочные работы по контролю положения крыльев относительно основной плоскости судна.

Наиболее трудоемки проверочные операции по определению установочных углов атаки. Существует несколько способов определения установочных углов: по струнам; с помощью теодолита или нивелира; оптическим квадрантом.

Проверку установочных углов по струнам (рис. 9) применяют в тех случаях, когда теплоходы установлены для зимнего хранения на палубах барж-площадок.

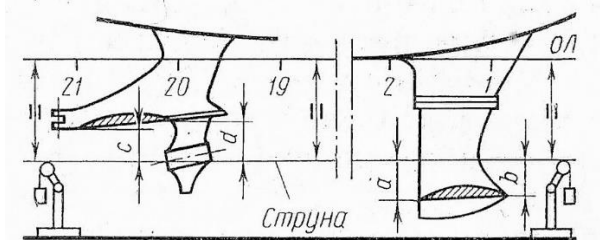


Рис.9. Схема проверки установочного угла крыльев с помощью струн.

Положение корпуса по отношению к горизонтальной плоскости может быть произвольным, т. е. установка его на ровный киль не требуется. Наиболее трудоемкими операциями в этом методе проверки являются отыскание основной линии (ОЛ) корпуса и материализация проверочной линии, лежащей в плоскости, параллельной ОЛ и вынесенной в сторону от ДП.

В связи с тем, что в ДП на крыльях установлены стойки и кронштейны или имеются килевые выступающие части, проверка установочных углов по струнам, натянутым в ДП параллельно ОЛ, невозможна. Необходимо материализовать струной специальную проверочную линию, вынесенную в сторону от ДП. Для этой цели в кормовой и носовой частях судна устанавливают сдвоенные реперы с неподвижными мишенями, расположенными симметрично относительно ДП и на равных расстояниях от корпуса (рис. 10).

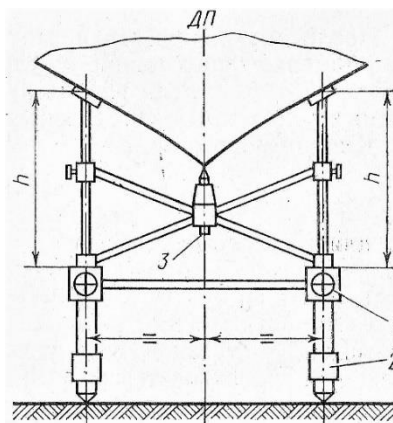


Рис.10 Сдвоенный репер:

1 - центrovатель струны; 2 - регулировочная муфта; 3 - указатель ДП.

Реперы размещают в плоскости шпангоутов или переборок так, чтобы их верхние наклонные башмаки плотно прилегали к обводам корпуса. Ориентацию реперов относительно ДП проверяют выдвижным указателем по килевой линии.

Пропустив натянутую струну через центrovатели реперов, корректируют ее положение с помощью натяжных устройств, размещаемых на переносных стойках вблизи носового и кормового крыльев. Провисание струны должно быть незначительным и не влиять на точность проверки установочных углов. Поскольку крылья расположены на разных высотах, проверочная линия должна проходить ниже кормового крыла и выше носового.

После натяжения струн, материализующих проверочные линии, измеряют расстояние от струн до соответствующих кромок крыльев и определяют тангенсы установочных углов крыльев относительно основной линии судна.

К недостаткам способа проверки установочных углов по струнам следует отнести трудность выполнения замеров одновременно в нескольких точках по размаху крыла. Для таких замеров требуются сменные или универсальные реперы, имеющие несколько мишеней по ширине корпуса.

При проверке установочных углов с помощью теодолита (рис. 11) проверочную линию не материализуют струной, а пробивают оптическую проверочную линию *I* (линию визирования).

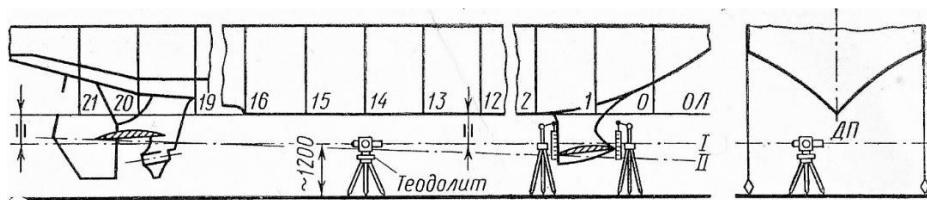


Рис.11. Схема проверки установочных углов теодолитом.

Корпус судна лучше выровнять в горизонтальной плоскости с помощью теодолита. Однако возможна также проверка установочных углов крыльев у судна, расположенного произвольно на ремонтном стапеле или на палубе баржи-площадки. В этом случае теодолит наклоняют в той же плоскости, в которой лежит основная линия корпуса.

Теодолит размещают в плоскости шпангоута, пользуясь вспомогательной установочной линией и отвесами, спущенными с бортов. При повороте визирной трубы теодолита на 90° ось ее будет параллельна плоскости ДП и находиться на заданном расстоянии от ДП. В двух точках в носовой и кормовой частях судна устанавливают специальные телескопические рейки-отвесы. Верхний указатель рейки-отвеса упирают в килевой лист корпуса по линии ДП и регулируют положение теодолита таким образом, чтобы ось визирной трубы его проходила на одинаковой высоте от корпуса в выбранных точках установки реек-отвесов по ДП.

Недостаток способа проверки установочных углов теодолитом является необходимость многократной перестановки теодолита и отыскания плоскости, в которой проходит основная линия корпуса. Как и предыдущий, этот способ целесообразно применять в тех случаях, когда на нижних плоскостях крыльев отсутствует разметка линий, выполненная в период постройки судна специально для проверочных работ. Если разметка этих линий сохранена, то следует пользоваться более простым способом замера установочных углов — оптическим квадрантом или простейшим слесарным уровнем.

При проверке установочных углов проверочной линейкой с оптическим квадрантом судно рекомендуется устанавливать на ровный киль так, чтобы основная линия корпуса находилась в горизонтальной плоскости и отсутствовал крен судна. Отклонение по дифференту допускается ± 2 мм, по крену ± 3 мм. Можно выполнить также замеры при произвольном положении корпуса, однако нужно дополнительно измерять угол наклона основной линии к горизонтальной плоскости, а это удлиняет процесс замера и снижает точность [2].

Поэтому для подобных измерений особенно сложных устройств, на наш взгляд, лучше пользоваться современными средствами контроля измерений, которые намного бы облегчили ручные измерения и выставление нужных углов. Для измерения углов созданы электронные теодолиты, которые могут применяться не только как самостоятельные приборы для угловых измерений в различных видах работ, но с функцией накопления и сохранения информации как миникомпьютеры для обработки измерений. Электронный тахеометр сделал возможным получение координат в любой точке объекта в течение короткого промежутка времени без каких-либо дополнительных или предварительных построений на местности. Точность измерения углов в современном электронном тахеометре достигает половины угловой секунды. Для линейных размеров можно использовать 3D-сканер или лазерный ручной дальномер. 3D-сканер при сканировании реальных объектов работает по принципу максимально подробного повторения того, что

«видит». Результат сканирования — это дискретное представление сканируемого объекта – большой набор 3D точек, лежащих на его поверхности, соединённых в треугольники. На выходе получается файл с треугольниками. На дисплее дискретная модель измеренного изделия выглядит нервной, помятой, какой она и является на самом деле. Но для некоторых применений дискретного представления вполне достаточно. Для других операций дискретного представления недостаточно и тогда ее переводят в векторный формат.

Характерной чертой векторных форматов является математическая правильность контуров при любом масштабировании и разрешении. При переводе в векторный вид объект становится математически правильной формы. Отрезки становятся идеально ровными, скругления описываются частью окружности, эллипса или гладкими математическими кривыми. Устраняются случайные неровности, заусенцы и т.д. То же самое происходит и при переводе дискретного формата в любой векторный CAD формат. Объект из миллионов треугольников превращается в набор цилиндров, плоскостей, гладких поверхностей и т.д. Это, конечно, очень дорогой вид измерения, зато очень точный и обработка дефектов и неточностей конструкции будет идти в разы быстрее, но вопрос остается в том, что судостроители не хотят вкладывать в такие технологии деньги, и пытаются выполнять работы тем, что имеется в наличии. Однако, в современных условиях жесткой конкуренции предприятия будут вынуждены совершенствовать свой уровень технической оснащённости, в том числе и современными средствами измерений.

Список литературы:

- [1] Зиганченко П.П., Кузовенков Б.П., Тарасов И.К., Суда на подводных крыльях: Конструирование и прочность. - Л.: Судостроение, 1981, 312 с.
- [2] Кулик Ю.Г, Технической обслуживание и ремонт скоростных судов (Основы организации и технологии). М., «Транспорт», 1978, 272 с.

JUSTIFICATION OF POSSIBLE DIRECTIONS OF IMPROVEMENT OF REPAIR TECHNOLOGY OF SPC SPECIAL DEVICES

Anastasia N. Balashova, Oleg K. Zyablov

Keywords: shipbuilding, ship repair, hydrofoil vessels, structural defects.

An important role in improving the efficiency and durability of structures is played by the prevention of undesirable damage and the study of existing problems encountered in the operation of the hydrofoil vessels.