
The increase of turbocharging efficiency at starting and non-optimal modes is ensured by the regulation of the engine's gas passage cross-sectional area. The regulation is performed by the guides (installed directly in front of the turbine) which reduce the cross section of the gas passage. The area of the gas passage is determined depending on the flow of exhaust gases. In this case, the velocity of the gases directly in front of the turbine is kept constant in all modes of diesel engine operation. With the engine's nominal capacity the cross-section of gas passage corresponds to the engine's exhaust.

Keywords: turbocharging of diesels, regulation of cross-sectional area of gas passage, constant velocity of gases, efficiency of turbocharging

УДК 620.193.15:669

Стогний Г.В.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНТАКТНОЙ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛОВ В СОВРЕМЕННОМ КОРАБЛЕ- И СУДОСТРОЕНИИ

Внедрение на кораблях и судах электрохимической защиты, параметры которой определены при исследовании закономерности процессов коррозии, создаст перспективы повышения эксплуатационной надёжности корпусов кораблей и судов.

Ключевые слова: экранопланы, электрохимическая коррозия, стелс.

Введение. На морских судах и кораблях ряд наиболее ответственных конструкций эксплуатируется в контакте и при усиленном воздействии потока морской воды. К ним относятся, такие контактные пары, как, например: «крыльевые установки из нержавеющей стали – корпуса судов из алюминиевого сплава», «корпус кораблей из алюминиевого сплава – модульные установки из специальных сталей и медных сплавов (Тримараны)», «корпуса кораблей из специальных алюминиевых сплавов – специальные покрытия по программе Stealth», «корпуса кораблей из алюминиевых сплавов – двигатели из высоколегированных сталей (экранопланы и экранолёты)», «обтекатели из высоколегированных сталей – корпуса судов, кораблей и подводных лодок типа «Запорожье», из углеродистых и низколегированных сталей» и др[2-3].

Цель исследований. Целью работы является исследование путей повышения эксплуатационной надёжности судов, судовых конструкций и кораблей при интенсивном потоке морской воды на основе изучения закономерностей процессов контактной коррозии и определения параметров их электрохимической защиты, получения научно обоснованных данных для разработки нормативных документов в современном корабле и судостроении.

Актуальность исследований. Процесс коррозии металлов в морской воде идёт с кислородной деполяризацией. При этом уменьшается катодная поляризуемость катодного элемента контактной пары, что может вызвать усиленную коррозию анодного элемента. Однако коррозия в этих условиях изучена недостаточно для решения вопроса об опасности эксплуатации судовых и корабельных конструкций, изготовленных из разнородных металлов, и выборе способов защиты их от контактной коррозии. Кроме этого не в полном объёме исследованы процессы коррозии в современных судостроительных материалах, при обтекании корабельных конструкций потоком морской воды выше 50 м/с, (60 м/с и 70 м/с, с регулируемой подачей процентного содержания кислорода в морской воде). А так же не изучена и не проверена экспериментально оптимальная энергоёмкость самой установки,

фактически может быть сниженная в десятки раз, что позволяет получить более чистые результаты независимые от свободно передаваемых ионов как от самой установки, её электродвигателя так и от заряда земли.

Результаты исследований. Для решения вышеуказанных проблем была рассчитана, спроектированная современная испытательная установка «ИМПУЛЬС – 100», которой были изначально и заданы необходимые исследуемые параметры. С учётом этого было принято решение существенно повысить скорость потока морской воды до 70 м/с пропускаемую через установку, при воздействии потока на испытуемые судостроительные образцы металлов. Кроме этого потребляемая мощность на испытательной установке «ИМПУЛЬС – 100», по сравнению с установками девяностых годов затрачена в десятки раз меньше. При омывании судостроительных металлических образцов установка «ИМПУЛЬС – 100» по своей конструкции изолирована от земного электромагнитного заряда (земного поля) и её конструкция позволила свести до минимума влияния (воздействия) свободных или освобождающихся ионов с металлических конструкций, что не было предусмотрено в испытательной установке девяностых годов созданной в СССР. Результаты испытаний, которой были взяты за основу в определении и установлении стандартов для судостроительных металлов в определении стандартов влияния на коррозионные процессы в судо- и кораблестроении.

Таким образом, в настоящее время в публикуемых изданиях нет результатов исследований при таких скоростях, а также нет испытательных машин подобного рода, в том числе по вопросам исследований и проверок лёгких сплавов металла при нахождении его в воздушно-капельной среде со скоростями движения среды выше 50 - 60 м/с. Так как такие испытания не проводились ни в странах судостроительной промышленности СНГ, в Украине и по информации из открытых зарубежных источниках результатов исследований при скорости выше 50 м/с вообще нет.

Уменьшение разрушения металлов при контактной коррозии достигается мероприятиями, снижающими эффективность работы электродных пар, образованных в результате контакта разнородных металлов. В частности, для снижения коррозии контактирующих между собой материалы должны по возможности иметь наименьшую разность стационарных потенциалов в эксплуатационных условиях. По значению стационарных потенциалов металлы разбиваются на следующие группы: 1) магний и его сплавы; 2) кадмий, цинк, алюминий и их сплавы; 3) свинец, олово и их сплавы, железо и стали перлитного класса; 4) медь, хром, никель, кобальт; 5) титан и их сплавы, коррозионно-стойкие стали, серебро, золото, платина. Разбивка по группам эмпирически условная.

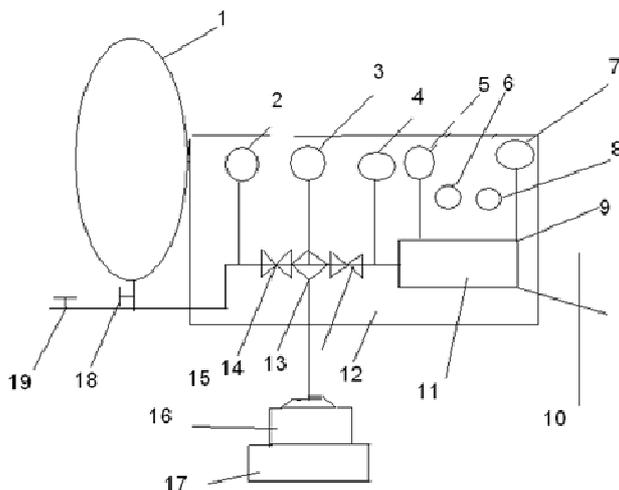


Рис. 1. Принципиальная схема испытательной установки «ИМПУЛЬС-100» $V = 70 \text{ м/с}$.

На рис.1 изображено: 1 – баллон ВСД; 2 – 5,7 – манометры; 6,8 - цифровые вольтметры; 10 – диффузор; 11 – испытательная камера; 12- пульт контроля и управления; 13 – конффузор; 14 – невозвратный клапан подачи воздушной смеси; 14а – невозвратный клапан подачи рабочей смеси; 15 – регулятор напора; 16 – насос; 17 – фильтр; 18 – воздушный клапан ВСД пульта; 19 – клапан набивки баллона ВСД.

Опыт эксплуатации показывает, что металлы, отнесенные к одной группе, могут эксплуатироваться в контакте друг с другом. Контакт металлов, отнесенных к различным группам, приводит к коррозии металла, являющегося анодом в паре. В этом смысле особенно опасны контакты магния и его сплавов практически со всеми металлами, кроме кадмия и сплавов алюминия с аустенитной сталью и металлами, отнесёнными к четвёртой группе в приведенной выше классификации. [1]

Обзор публикаций и исследований. Для определения особенностей и закономерностей влияния скоростного потока на контактную коррозию судостроительных металлов были проведены исследования контактной коррозии разнородных металлов на участках обеспечивающих изменение скорости потока морской воды в интервале от 10 до 50 м/с. С этой целью применялась установка «Скорость – 50», основной рабочей частью, которой является прямоугольная целевая камера, в стенках которой заподлицо устанавливаются судостроительные образцы металлов и хлорсеребряные электроды сравнения. Два образца, электрод сравнения и вспомогательный электрод, размещённые в верхней и нижней частях камеры, образуют электрохимическую ячейку, не зависящую от соседних. Внутри камеры непосредственно из Чёрного моря насосом подаётся морская вода со скоростью выше 50 м/с.

Исследования контактной коррозии проводили на образцах из алюминиевого сплава АМг61, широко применяемого в настоящее время для корпусных конструкций, бронзы АЖН9-4-4, используемой для гребных винтов, высоколегированной стали 12Х18Н10Т, применяемой для крыльевых устройств, обтекателей, внутренней поверхности насадок, сплава 3, применяемого для аналогичных конструкций, а также углеродистой стали 25Л.

Изучение контактной коррозии указанных выше металлов проводилось путём определения электрохимических характеристик (стационарного потенциала, поляризуемости, тока коррозии) и скорости коррозии. В результате измерений стационарных потенциалов установлено, что с увеличением скорости движения морской воды от спокойной до 50 м/с стационарный потенциал стали 25Л сдвигается в область положительных значений, изменяясь от – 650 до – 500 мВ. Наибольшее изменение его (на 70 мВ) происходит при повышении скорости движения до 10 м/с. Стационарный потенциал бронзы АЖН9-4-4 при увеличении скорости движения воды от нуля до 50 м/с изменяется от -220 до -300 мВ. При этом наблюдается плавное изменение потенциала до скорости движения воды, равной 30 м/с, а при дальнейшем её увеличении изменения потенциала практически не происходит. Стационарный потенциал алюминиевого сплава АМг61 при увеличении скорости движения воды значительно смещается в область отрицательных значений. На этом сплаве наибольший сдвиг потенциала происходит при переходе от спокойной воды к скорости обтекания 10 м/ и величина потенциала изменения 10 м/с и величина потенциала изменяется от – 740 до 1150 мВ. При дальнейшем увеличении скорости движения (до 50 м/с) наблюдается некоторое смещение потенциала в положительную сторону, до – 950 мВ. При этом его значение остаётся отрицательнее (на 200 мВ) величины потенциала в спокойной воде. Величина стационарных потенциалов высоколегированной стали 12Х18Н10Т при различной скорости морской воды изменяются незначительно.

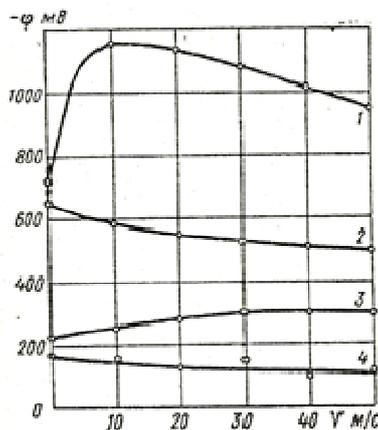


Рис.2. Влияние скорости движения морской воды на стационарные потенциалы металлов: 1- сплав АМг61; 2- сталь 25Л; 3- бронза АЖН9-4-4; 4- сталь 12Х18Н10Т

Анализируя ход кривых исследуемых материалов (рис. 2), следует отметить, что для сталей по мере увеличения скорости движения воды характерен сдвиг стационарного потенциала в катодную область (в большей степени для углеродистой стали, чем для высоколегированной). Это влияние проявляется более значительно для углеродистой стали, не имеющей такой пассивной плёнки, как у высоколегированной. Наблюдаемое резкое смещение стационарного потенциала алюминиевого сплава в отрицательную область при скорости движения воды до 10 м/с обусловлена, в основном, отрицательным влиянием ионов хлора, разрушающих окисную плёнку на поверхности этого сплава. И только при увеличении скорости движения воды свыше 10 м/с наблюдается положительное влияние диффундируемого к поверхности металла кислорода, преобладающее над отрицательным влиянием иона хлора. Вследствие этого в интервале скоростей от 10 до 50 м/с имеет место катодный сдвиг потенциала алюминиевого сплава.

Экспериментально установлено, что катодная поляризуемость исследуемых металлов с увеличением скорости движения воды уменьшается; предельный диффузионный ток при этом увеличивается. Наиболее сильное увеличение предельного диффузионного тока наблюдается у коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т и стали 25Л в интервале скоростей потока 0-10 м/с. У бронзы АЖН9-4-4 величина предельного диффузионного тока увеличивается практически пропорционально скорости движения морской воды. Удельная катодная поляризуемость испытуемых металлов при увеличении скорости движения морской воды уменьшается, что подтверждается данными, приведёнными в таблице.

Из анодных поляризационных стали 25Л, приведённых в таблице 1, видно, что анодная поляризуемость практически не зависит от скорости потока морской воды. По-видимому, это объясняется активирующим влиянием хлор-ионов, так как их концентрация в морской воде значительная и не позволяет кислороду при интенсивном подводе его в процессе движения воды образовывать на поверхности стали окисные плёнки, которые могли бы замедлить скорость анодной реакции. Таким образом, сталь 25Л остаётся всё время в активном состоянии, а продукты коррозии при больших скоростях потока удаляются движущейся водой и мало влияют на анодный процесс растворения стали.

Несколько иной ход имеют анодные поляризационные кривые алюминиевого сплава АМг61. Высокая анодная поляризуемость сплава как в спокойной воде, так и в скоростном потоке обусловлена большой пассивностью алюминиевого сплава. По мере увеличения скорости движения воды и плотности поляризующего тока все большая часть поверхности металла будет освобождаться от оксидной плёнки. Потенциал сплава при этом довольно резко смещается в положительную сторону, в результате чего усиливается депассивирующее, разрушающее плёнку действие хлор-ионов, и сплав при плотности тока 8 А/м практически находится в активном состоянии.

Марка металла	Поляризуемость металла при скорости потока морской воды, м/с				
	0	10	20	30	50
Катодная поляризуемость					
Бронза АЖН9-4-4	1,27	0,7	0,46	0,26	0,04
Сталь 12Х18Н10Т	4,1	1,6	0,6	0,43	0,25
Сталь 25Л	0,75	0,304	0,22	0,13	0,07
Сплав 3	3,8	1,91	1,56	0,61	0,36
Анодная поляризуемость					
Сплав АМг61	0,4	0,78	0,43	0,26	0,07
Сталь 25Л	0,11	0,1	0,07	0,06	0,04

Для определения интенсивности контактной коррозии анодных металлов по поляризационным критериям (рис. 2) был определён ток коррозии для каждой пары металлов при различных скоростях движения морской воды. Как видно из диаграммы, в спокойной воде величина тока пар металлов бронзы АЖН9-4-4, стали 25Л, высоколегированной стали 12Х18Н10Т и сплава 3 в контакте с более анодными металлами---алюминиевым сплавом АМг61 и сталью 25Л определяется скоростью диффузии кислорода к катоду. При этом плотность тока коррозии при всех испытываемых сопряжениях металлов составляет 0,1–0,25 А/м, что совпадает с плотностью предельного диффузионного тока (25 мкА/см) для спокойной воды и не зависит от природы металла катода.

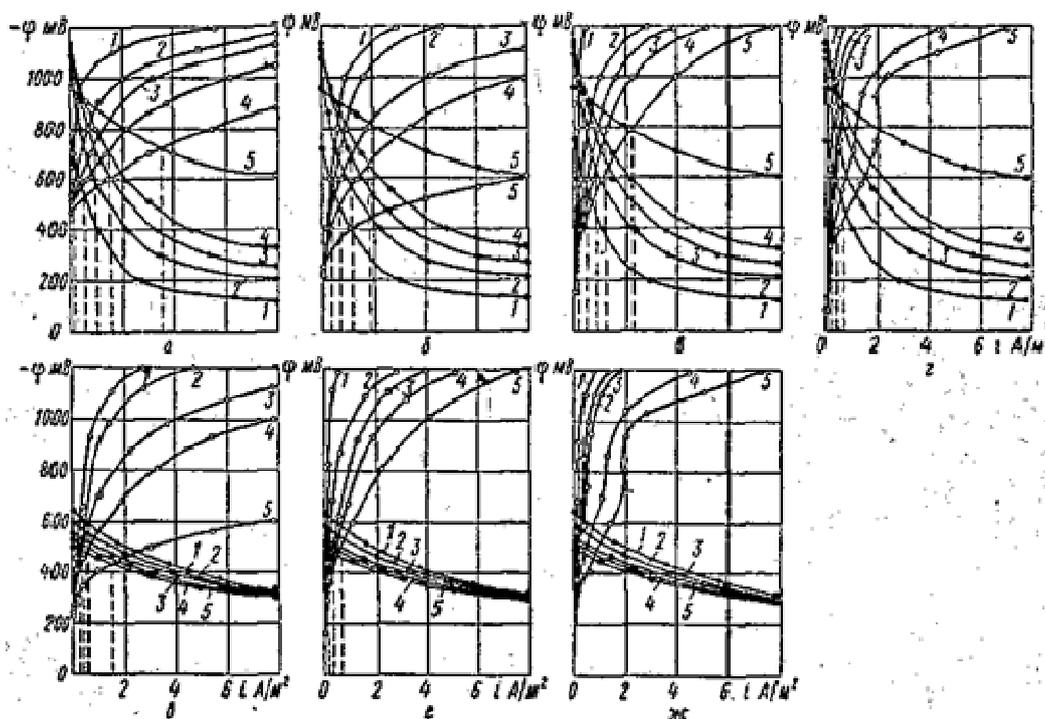


Рис. 3. Поляризационные коррозионные диаграммы контактных пар:
 Сталь 25Л – сплав АМг61 (а); бронза АЖН9-4-4 - сплав АМг61 (б); сталь 12Х18Н10Т - сплав АМг61 (в); сплав – 3 - сплав АМг61 (г); сталь 25Л – бронза АЖН9-4-4 (д);
 сталь 25Л – сталь 12Х18Н10Т (е); сталь 25Л – сплав 3 (ж) при скорости движения воды 0 (1);
 10 (2); 20 (3); 30 (4); 50 м/с (5)

При движении воды скорость контактной коррозии анодного металла определяется концентрацией кислорода и толщиной диффузионного слоя, т. е. гидродинамическими условиями у поверхности катодного металла.

Как известно, движущаяся вода увеличивает доставку кислорода к поверхности металла, и при скорости выше 10 м/с происходит постепенный переход от диффузионного контроля к кинетическом.

Природа металла, положение и наклон анодной поляризационной кривой влияют на величину потенциала сопряжения, но не на скорость процесса при диффузионном контроле. И только при переходе от диффузионной кинетики восстановления кислорода к кинетической сказывается природа металла катода. Это подтверждается величинами плотностей тока коррозии, определенными из коррозионных диаграмм. Графические зависимости плотностей тока коррозии для исследуемых пар контактируемых металлов при различных скоростях движения морской воды, представленные на рис. Показывают, что все кривые начинаются из одной области точек, близких по своим значениям. Это свидетельствует об отсутствии существенного влияния материалов в спокойной морской воде. Некоторое усиление контактной коррозии алюминиевого сплава АМг61 и стали 25Л наблюдается лишь при контакте анодных металлов с медным сплавом (см. рис.4. кривые 1 и 5).

По мере увеличения скорости движения морской воды на интенсивность контактной коррозии анодных металлов значительное влияние начинает оказывать материал катода. Наиболее заметно влияние катодного материала в сопряженных парах, где анодом является алюминиевый сплав АМг61. Так, при скорости потока морской воды, равно 50 м/с, плотность тока коррозии для этого сплава в паре с бронзой АЖН9-4-4 достигает 8,3 А/м², тогда как при контакте со сталью 25Л плотность тока меньше чем в два раза (3,4 А/м²).

Высоколегированная сталь (X18Н10Т) и сплав 3 оказывают практически одинаковое влияние на скорость контактной коррозии анодных материалов при всех скоростях потока морской воды (см. рис.4, кривые 3,4 - для алюминиевого сплава и кривые 6, 7- для стали 25Л). Это обусловлено близкими электрохимическими характеристиками указанных катодных материалов, что подтверждается данными таблицы.

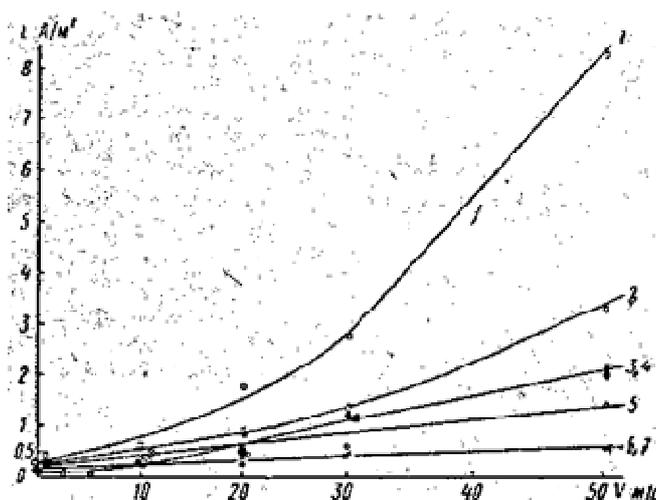


Рис.4. Зависимость плотности тока коррозии от скорости потока морской воды для различных сопряжений металлов:

1 – АМг61+Бр.АЖН9-4-4; 2 – АМг61+сталь 25Л; 3 – АМг61+12Х18Н10Т; 4 – АМг61+сплав 3; 5 – сталь 25Л+Бр.АЖН9-4-4; 6 – сталь 25Л+12Х18Н10Т; 7 – сталь 25Л+сплав 3

Данные электрохимических исследований контактной коррозии анодных металлов в потоке морской воды согласуются с результатами коррозионных испытаний этих сопряжений металлов при том же соотношении площадей (1 : 1) и тех же скоростях потока морской воды. Как следует из диаграмм, на рис. 4 и 5, на скорость контактной коррозии анодных металлов (алюминиевого сплава и стали) влияние катодного металла наблюдается при повышенных скоростях потока морской воды (более значительное для алюминиевого сплава по сравнению со сталью). Наиболее опасными из всех исследованных катодных материалов для стали и алюминиевого сплава являются медные сплавы, в данном случае – бронза АЖН9-4-4.

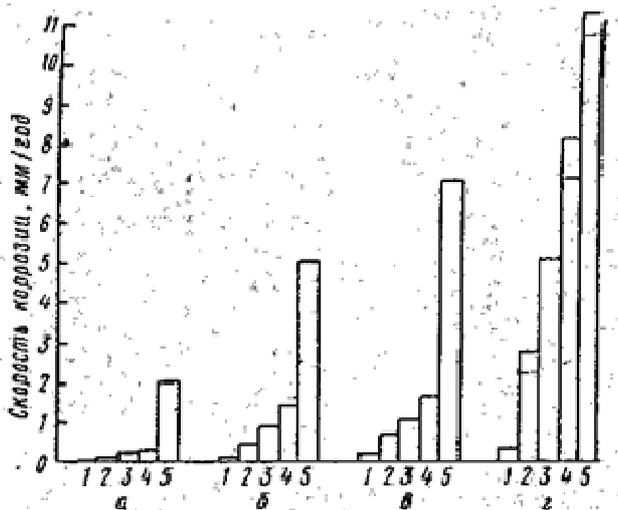


Рис.5. Скорость контактной коррозии алюминиевого сплава АМг61 в сопряжении с катодными металлами при соотношении площадей 1:1 и разных скоростях потока морской воды – 0(1), 10 (2), 20 (3), 30 (4), 50 м/с (5): а – АМг61; б – АМг61 – 12Х18Н10Т; в – АМг61 – 25Л; г – АМг61 – АЖН9-4-4

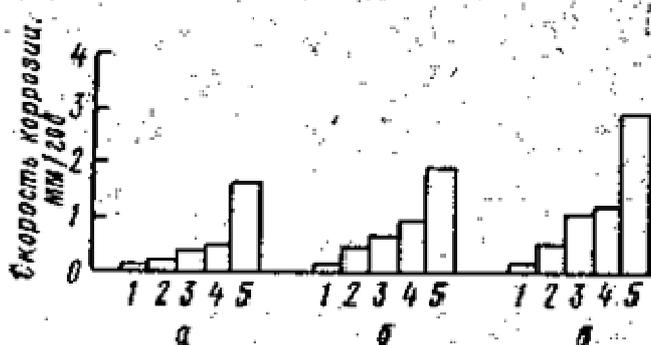


Рис.6. Скорость контактной коррозии стали 25Л в сопряжении с катодными металлами при соотношении площадей 1:1 и разных скоростях потока морской воды – 0 (1), 10 (2), 20 (3), 30 (4), 50 м/с: а – 25Л; б – 25Л – 12Х18Н10Т; в – 25Л – АЖН9-4-4

Ввиду необходимости применения электрохимической защиты для корпусных конструкций, эксплуатирующихся в движущейся морской воде, исследовали влияние скорости потока морской воды на плотность тока в условиях катодной поляризации при заданных значениях потенциалов сопрягаемых пар металлов в интервале от –800 до –1400

мВ. Как показано на рис.7, для поддержания заданного потенциала катодной поляризации при контакте разнородных металлов с увеличением скорости потока морской воды плотность тока резко возрастает. Значительное увеличение плотностей катодного тока при одних и тех же заданных потенциалах наблюдается также в условиях потока морской воды для контактируемых металлов по сравнению с поляризацией металла без контакта (см. кривые 1, 1 и 4, 4 на рис.7), и тем больше, чем выше скорость потока воды.

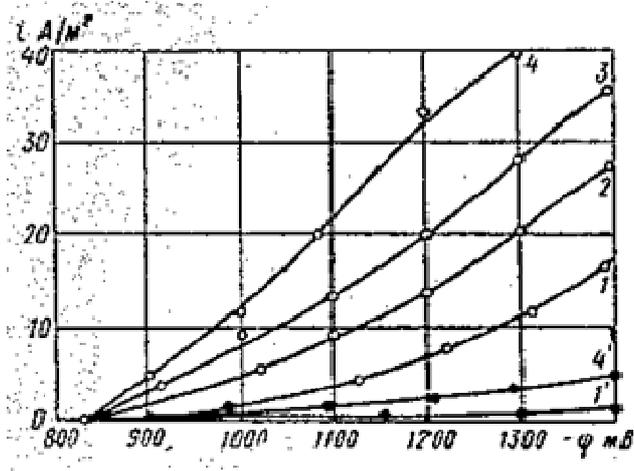


Рис.7. Зависимость установившейся плотности катодного тока от заданного потенциала катодной поляризации металлов при скорости движения морской воды (1, 1'), 20 (2), 30 (3), 50 м/с (4, 4') для сопряжений бронза АЖН 9-4-4 – сплав АМг61 при $S_k : S_a = 1 : 1$ (0); сплав АМг61 без контакта (0)

Это свидетельствует о значительном увеличении расхода электроэнергии для нужд катодной защиты и, естественно, о нежелательности контакта разнородных металлов при повышенных скоростях движения морской воды.

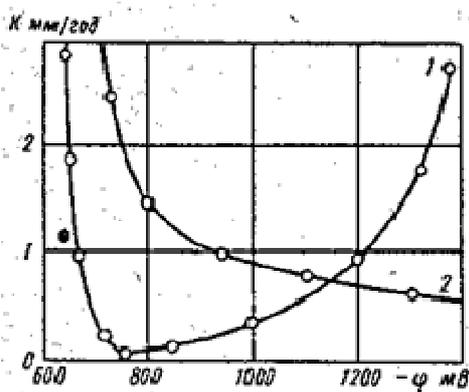


Рис.8. Зависимость скорости коррозии алюминиевого сплава в контакте с бронзой АЖН9-4-4 при $S_k : S_a = 1 : 1$ от потенциала при катодной поляризации в спокойной воде (1) и при скорости потока 50 м/с (2)

Рассматривая коррозионное состояние анодного металла – алюминиевого сплава АМ г61 в сопряжении с бронзой АЖН9-4-4 при соотношении площадей 1 : 1 под воздействием катодной поляризации, видно, что в условиях потока морской воды (50 м/с) наблюдается смещение в отрицательную сторону на 400 мВ и более области опасных с точки зрения «перезащиты» потенциалов по сравнению со стационарными условиями (рис.8). Это

свидетельствует о необходимости проведения дальнейших исследований коррозионного поведения сопрягаемых металлов в условиях катодной поляризации в потоке морской воды с целью уточнения параметров электрохимической защиты для конструкций, изготавливаемых из разнородных металлов и эксплуатируемых при высоких скоростях потока морской воды [1, 4, 6].

В судостроении постоянно ведутся поиски лучших материалов для корпусов кораблей и судов, прочных, лёгких и стойких. Последнему качеству судостроительного материала уделяется особое внимание, как технологическим, так и прочностным свойствам. А это, в свою очередь, требует усиленных поисков решений защиты от электрохимической, контактной коррозии корабельных и судовых агрегатов, при эксплуатации их в скоростном морском потоке. [5]

Выводы. Внедрение на кораблях и судах электрохимической защиты, параметры которой определены при исследовании закономерности процессов коррозии, создаст перспективы повышения эксплуатационной надёжности корпусов кораблей и судов, снижения кавитационных и эрозионных разрушений при интенсивном потоке морской воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Стогний Г.В.* «Исследования, влияния скорости потока морской воды на контактную коррозию металлов». Материалы Всеукраинской научно – практической конференции. «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування» – 2011. – С.65 – 72.
2. *Пасичанский И.* USS Indtpendtnct (LCS – 2) - боевой тримаран. // Камуфляж. – 2011. – №5 – 28с.
3. *Кутовой С.* «Корабли – невидимки» // Судостроение. – 2006. – №1. – 69 с.
4. *Стогний Г.В.* «Влияние электрохимической коррозии на корпусные стали кораблей при обтекании их скоростными потоками». Г.В. Стогний, П.Н. Выхристюк, А.И. Сорокин, В.Н. Казаренко, // Збірник наукових праць «Національного університету кораблебудування» Миколаїв – № 3. – 2011. – С.29–39.
5. *Стогний Г.В.* «Защита корпусов скоростных судов, экранопланов от электромагнитных излучений» Міжнародна науково-технічна конференція. Водний транспорт. Збірник наукових праць. – № 1. – 2012. – С.106 – 111.
6. *Чкалов Л.А.* «Коррозионные испытания наплавленного металла бронзы Бр.АЖНМц 8,5-4-5-1, в потоке морской воды» Л.А. Чкалов, В.А. Кузнецов, А.И. Сорокин, // Научно – технический сборник «Судовое машиностроение». – №16. – 1989. – С.81–87.

Стогний Г.В.

ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНТАКТНОЇ КОРРОЗІЇ МЕТАЛІВ У СУЧАСНОМУ КОРАБЛІ ТА СУДНОБУДУВАННІ

Впровадження на кораблях і судах електрохімічного захисту, параметри якої визначені при дослідженні закономірності процесів корозії, створить перспективи підвищення експлуатаційної надійності корпусів кораблів і судів.

Ключові слова: экраноплани, електрохімічна корозія, стелс.

Stogniy G.

PERSPECTIVES OF FUTURE RESEARCH ON CONTACT CORROSION OF METALS IN MODERN SHIP AND SHIPBUILDING

The introduction to the vessels' electrochemical protection, the parameters of which are defined in the study of patterns of corrosion processes is purposed to create prospects of improving operational reliability of vessels' hulls.

Keywords: airfoils, electrochemical corrosion, stealth.