

А.Г. МНУХИН, А.М. БРЮХАНОВ, И.П. ГОРОШКО, В.И. ЕМЕЛЬЯНЕНКО,
С.В. НАСОНОВ

Украина

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗРЯДНО-ИМПУЛЬСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Аннотация. В статье описаны результаты практического применения электрогидравлических установок типа “Импульс” для разрушения бетонных фундаментов, очистки труб, элементов судовых и прочих конструкций от минеральных и органических отложений. В статье также приведены результаты применения разрядно-импульсной технологии для очистки воды от бактериологического загрязнения.

Опыт применения разрядно-импульсной технологии с использованием установок типа “Импульс” позволяет отнести их к экологически безопасным и энергосберегающим, и свидетельствует о ряде их несомненных преимуществ для решения отдельных задач, а также целесообразности их дальнейшего развития и широкого внедрения.

EXAMPLES OF APPLICATION ELECTRO-HYDRAULIC DISCHARGE IMPULSE TECHNOLOGIES IN DEFFERENT BRANCHES OF INDYSTRY

Summary. Results of application electro-hydraulic devices as „Impuls” during concrete foundations crushing, pipe cleaning, excrescende removing (specially from underwater parts of ships) and water purification from bacterial pollutants have been descripted).

Импульсный высоковольтный разряд в жидкости, как процесс быстрого преобразования энергии электрического поля в другие виды энергии представляет собой несомненный интерес не только как объект научных исследований, но и является весьма перспективным для промышленного использования.

В настоящее время разрядно-импульсная технология достаточно широко используется в ряде таких технологических процессов, как обработка металлов

импульсным давлением, дегазация расплавов металлов, запрессовка труб в теплообменники, разрушение негабаритов на карьерах, решения некоторых других специфических задач, например, сейсмоакустики и т.п.

Сущность разрядно-импульсной технологии заключается в реализации электрического разряда в жидкости (чаще всего в воде), сопровождающегося резким выделением энергии, запасенной в накопителе энергии – генераторе импульсных токов. Выделение энергии происходит на разрядном промежутке за счет пробоя диэлектрической жидкости (воды) и возникновения плазменного пульсирующего канала между электродами, формирующими непосредственно разрядный промежуток. Электрический пробой межэлектродного промежутка формирует в жидкости парогазовую полость, что сопровождается импульсным повышением давления до $(1-1,5) \cdot 10^3$ МПа, мощным ультрафиолетовым излучением, инфракрасным излучением и рядом других физико-химических явлений. Упомянутые выше факторы, сопровождающие электрический разряд в жидкости являются определяющими при использовании разрядно-импульсной технологии в различных отраслях.

Коллективом авторов была разработана и создана серия мобильных многофункциональных электрогидравлических установок типа “Импульс”, предназначенных для решения достаточно широкого круга технологических задач [1, 2].

Установки серии “Импульс” представляют собой мобильный высокоэнергетический комплекс, состоящий из силовой части, включающий в себя источник питания, блок силовых выпрямителей, батарею высоковольтных импульсных конденсаторов, систему коммутации, питающий и разрядный кабели и рабочий орган – электродную систему. Также в состав установки входят средства контроля и управления, системы безопасности, и непосредственно транспортное средство, соответствующей упругоподъемности, в зависимости от типа установки. Установка комплектуется компрессором с рабочим давлением 0,5МПа, отбойным молотком и перфоратором для вспомогательных операций. Подключение установки к источнику питания напряжением 380 В осуществляется с помощью гибкого кабеля сечением 25-35 мм². Энергия разряда от ГИТ на исполнительный орган подается по разрядному коаксиальному кабелю типа РК-50-24-17. Максимальная длина разрядного кабеля определяется мощностью батареи конденсаторов и составляет 500-1000 м в зависимости от типа и функционального назначения установки.

Электрогидравлическая установка типа “Импульс-4”, смонтированная на шасси автомобиля КРАЗ 257-Б1, кроме того оснащена кабельным барабаном специальной конструкции с электроприводом, предназначенным для транспортировки и механизации процесса подачи разрядного кабеля к объекту обработки [2]. Конструкция кабельного барабана, токосъем которого рассчитан на прохождение импульсных токов до 30 кА, обеспечивает непрерывную подачу импульсного напряжения в процессе работы.

Исполнительные органы электрогидравлических установок представляют собой специальные электродные системы различной конструкции в зависимости от решаемой в процессе производства конкретной технологической задачи.

Основные технические характеристики установок серии “Импульс” приведены в табл. 1.

Таблица 1
Параметры ЭГД - установок

Тип установки	“Импульс-1”	“Импульс-3”	“Импульс-4”
Напряжение питания, кВ	0,38/0,66	0,38	0,38/0,66
Напряжение на батарее, макс., кВ	5,0	5,0-6,3	4,8
Ток разряда, макс., кА	30	30	30
Емкость батареи конденсаторов, Ф	0,016	$2,2 \cdot 10^{-6}$ - $6,0 \cdot 10^{-3}$	0,016
Мощность источника питания, кВА	400	40	400
Длительность заряда, С	15	0,1 - 10	15
Запасаемая энергия, кДж	200	0,044 - 75	200
Длина рабочего кабеля, м	500	200	1000
Диаметр шпура мин., мм	42	15	42
Обслуживающий персонал, чел.	4	2 - 3	4
Ориентировочная стоимость, у.е.	55,0	20,0	65,0
Производительность, м ³ /ч маш. вр. по разрушению фундаментов (бетон М700)	5	3	5

Электрогидравлические установки типа “Импульс-1” и “Импульс-4” нашли достаточно широкое промышленное применение, связанное с решением таких специфических задач, как очистка труб шахтного водоотлива и элементов горно-

шахтного оборудования от минеральных отложений, очистка внутренней поверхности труб теплообменных аппаратов, очистка труб водоводов оборотного водоснабжения металлургических предприятий, а также разрушение каменных негабаритов и бетонных фундаментов, подлежащих сносу.

По вышеуказанным видам работ к настоящему времени накоплен достаточный опыт, позволяющий сделать выводы об эффективности применения разрядной технологии для их выполнения. Так, например, при разрядноимпульсной очистке [3] двух вертикальных ставовых труб шахтного водоотлива на шахте им. Дзержинского ПО “Дзержинскуголь” общей длиной 1000 м и рабочим диаметром 250 мм, при толщине отложений 50-60 мм (рис. 1), было извлечено на поверхность 39,6 м³ отложений. Причем процесс очистки проводился без нарушения технологического цикла водоотлива. В результате выполненной очистки, за счет восстановления нормального сечения трубопровода, стало возможным увеличить подачу воды в 2,6 раза. Избыточное давление при этом было снижено с 0,25 до 0,1 МПа, а число насосных установок, одновременно находящихся в работе было уменьшено с 4-х до 1-2 шт. При этом, за счет выведения из работы двух электродвигателей насосных установок мощностью 1200 кВт, достигается экономия электрорезервации 57600 кВт·ч за сутки, что позволяет окупить работы по очистке за 10-12 суток. Аналогичные работы по очистке водоотливных труб были проведены на шахте “Комсомолец Донбасса” и шахте им. Ю.Гагарина.

Весьма актуальной в настоящее время представляется необходимость очистки труб оборотного водоснабжения предприятий металлургической отрасли. В среднем на металлургическом предприятии требуют ежегодной очистки десятки километров труб диаметром до 900 мм и более. Технология их очистки, а также очистки различных водоохлаждаемых поверхностей, с применением электрогидравлических установок типа “Импульс” в настоящее время разработаны и прошли апробацию на ряде предприятий Украины [4].

К одному из направлений промышленного использования электрогидравлических установок типа “Импульс” можно отнести выполнение работ, связанных с разрушением бетонных фундаментов, оснований, свай и других конструкций, подлежащих сносу или демонтажу. Актуальность данного вида работ обусловлена сравнительно невысокой производительностью традиционных способов и средств разрушения упомянутых выше объектов. Чаще всего приемлемую производительность работ по разрушению бетонных фундаментов, оснований и проч. возможно обеспечить

только применением технологий с использованием взрывчатых веществ (ВВ). Однако, учитывая специфику применения ВВ, сопряженную с проведением специальных мероприятий по обеспечению безопасности, а также наличие негативного воздействия продуктов взрыва на окружающую среду, такая технология в ряде случаев, особенно в условиях действующих производств, неприменима.

Сущность электрогидравлического способа разрушения монолитных объектов заключается в том, что в пробуренный шпур заливается рабочая жидкость (как правило, вода), устанавливается рабочий орган, включающий в себя разрядный промежуток, который подключается к специальному генератору импульсных токов и производится один или несколько высоковольтных электрических разрядов [5]. Импульсное давление, сопровождающее возникновение парогазовой полости, инициирует мощные ударные волны, воздействие которых приводит к разрушению целостности объекта обработки, причем последнее происходит плавно, практически без разлета частиц. На рис. 2 представлен фрагмент демонтируемого фундамента из бетона марки 700 после электрогидравлического воздействия.

Указанный способ позволяет осуществлять эффективное и безопасное разрушение особопрочных фундаментов в условиях действующих производств. Причем обеспечивается высокая экологическая чистота проведения работ, поскольку отсутствуют токсичные дымы и пыль, присущие взрывным методам разрушения.

В настоящее время с помощью установки "Импульс-4", только в условиях работающих цехов, разрушено более 120 м³ высокопрочных бетонных фундаментов. Причем, даже в зимнее время, фактическая производительность установки составляла не менее 5 м³/ч машинного времени.

Следует отметить также, что преимущества электрогидравлического способа разрушения бетонных конструкций (высокая производительность, отсутствие нитратов, дымов, разлета частиц, сотрясений массива) позволяют использовать его также для эффективной и безопасной разборки завалов в чрезвычайных ситуациях, таких как землетрясение, обвалы зданий и т.п. Причем возможно применение электрогидравлической технологии в самых труднодоступных местах. Фактически место применения ограничивается лишь возможностью доступа оператора и габаритами бурильного инструмента.

Кроме упомянутых выше областей применения электрогидравлических установок типа "Импульс", прошедших промышленную апробацию, в настоящее время

проведены полигонные испытания ряда технологий, связанных с очисткой судов и подводных конструкций от различного рода обрастателей и ржавчины.

При эксплуатации судов в теплых морях происходит интенсивное обрастание подводной части микроорганизмами – баяндусом, мшанкой и прочими. Это со временем приводит к разрушению защитного покрытия (шпаклевки, краски) корпуса, вплоть до образования сквозных свищей в корпусе судна. Кроме того, при этом происходит существенное ухудшение динамики корпуса, что в свою очередь неминуемо приводит к ухудшению ходовых характеристик судна и значительно увеличивает расход топлива и смазочных материалов. По данным зарубежных источников, потери, связанные с обрастанием корпуса, для дизельного танкера водоизмещением 50000т за два года эксплуатации составляют 484,5 тыс. долл. США.

Указанные выше аспекты явились предпосылками для разработки технологии электрогидравлической очистки корпусов судов от обрастателей без постановки судов в сухой док. Нами разработаны специальные электродные системы, которые в комплексе с установками “Импульс” могут обеспечить эффективную очистку бортов судна от биологических обрастателей. Совместно с Азовским морским пароходством проведены полигонные испытания по очистке элементов подводных судовых конструкций от баяндуса и мшанки, а также пластовой питтинговой ржавчины. Толщина отбитой питтинговой и пластовой коррозии на объектах испытаний составляла 5 мм, а степень ее снятия достигала 100% (очистка М I-II, согласно РД-31.28.31-23 эталонов очистки). Обрастатели в виде баяндуса и мшанки толщиной до 11,5 мм были удалены на 80% (рис. 3). Учитывая высокую эффективность такого способа очистки, тем более не требующего извлечения объекта из воды, а также экологическую чистоту данного способа, по нашему мнению является вполне оправданным и целесообразным дальнейшее развитие и совершенствование данного направления применения разрядноимпульсной технологии.

К перспективным, по нашему мнению, следует отнести применение разрядноимпульсного воздействия для обеззараживания воды.

Известно, что различные виды бактерий, простейших, фагов и вирусов быстро погибают в жидкости, в которой инициируются электроимпульсные разряды высокого напряжения [6]. Это свойство электрогидравлического эффекта, сопровождающегося, как указывалось выше, рядом специфических физико-химических явлений, а также экологическая чистота подводного плазменного взрыва обуславливает широкие возможности для практического использования его при стерилизации жидкостей, в

частности обеззараживания сточных вод. Основываясь на изложенном, нами проведен ряд экспериментов по электрогидравлической обработке воды, из различных открытых источников, имеющих высокий уровень бактериологического заражения с целью ее обеззараживания. Эксперименты по очистке воды проводились с помощью установок “Импульс-1” и “Импульс-4” путем разрядно-импульсного воздействия на отобранные пробы воды в специальной емкости.

В процессе проведения экспериментов варьировались параметры электрогидравлического воздействия – напряжение и энергия разряда, а также частота и количество разрядов в обрабатываемой воде. В табл. 2 приведены типичные результаты электрогидравлической обработки воды объемом 0,8 м³ из открытого водоема.

Как видно из табл. 2 после электрогидравлической обработки большинство физико-химических показателей меняются незначительно. Однако, отмечается снижение pH до 7,5, уменьшается мутность, а также наблюдается некоторое увеличение концентрации железа, обусловленное частичной эрозией электродов и повышается содержание ионов хлора. При этом практически все из вышеупомянутых показателей не выходят за рамки, нормируемые стандартами.

Таблица 2

Количество воды из открытого водоема до и после электрогидравлического воздействия в сравнении с ГОСТами для воды источников и воды питьевой (количество проб - 20)

№ п/п	Показатели	ГОСТ 2761-84 источника	ГОСТ 2874-82 вода питьевая	Вода до обработки	Вода после обработки
1.	Запах	2	2	16	14
2.	pH	6,5-8,5	6,0-9,0	8,0	7,5
3.	Цвет (град)	120	20	25	30
4.	Взвеш. в-ва мг/дм ³	15,0	1,5	7,7	7,2
5.	Ионы аммония мг/дм ³	2,0	–	0,25	0,3
6.	Нитриты мг/дм ³	3,300	–	0,16	0,2
7.	Нитраты мг/дм ³	45,0	45,0	2,5	2,8
8.	Fe мг/дм ³	1,0	0,3	0,03	0,6
9.	Ионы Cl мг/дм ³	350	350	65	300
10.	Жесткость мг-экв/ дм ³	7,0	7,0	5,8	6,0

11.	Щелочность мг-эquiv/ дм ³	–	–	4,3	4,2
12.	Раств. кислород мгO ₂ / дм ³	–	–	7,5	7,8
13.	Перм. окисл. мгO/ дм ³	15	–	7,2	6,9
14.	К-во бакт. в 1 см ³	–	100	450	50
15.	ЛКП в 1 дм ³	10000	<3	8000	70
16.	Коли-фаги в 1 дм ³	+00	–	100	10

Наиболее существенные изменения, как показывают результаты анализов, заключаются в резком уменьшении содержания микроорганизмов в воде. Общее количество бактерий снижается в 9 раз до уровня ниже нормируемого для питьевой воды, содержание кишечных палочек уменьшается более чем на порядок, а коли-фаги в десять раз. Таким образом, менее чем за одну минуту, при расходе энергии 400кДж осуществлена очистка 0,8 м³ сильно загрязненной микробами воды почти до параметров, нормируемых стандартом на питьевую воду. В принципе, путем повторения цикла очистки, можно повысить ее уровень, но, исходя из требований к воде открытых источников культурно-бытового назначения, полученный уровень очистки является достаточным для обеззараживания сточных вод.

Учитывая экологическую чистоту данного способа обеззараживания воды, невысокую стоимость очистки (0,04 \$/м³), а также существующую повсеместно проблему бактериологического загрязнения воды, данный метод очистки может быть реализован с помощью специальных малогабаритных, дешевых стационарных электрогидравлических установок производительностью до 30 м³/час. В настоящее время проведена конструкторская проработка таких изделий, включающая ряд запатентованных “Ноу-Хау”, и начато их производство по заказу ряда шахт Донецкого региона.

Подводя итоги сказанному, опираясь на опыт эксплуатации электрогидравлических установок типа “Импульс”, по нашему мнению разрядно-импульсная технология обладает рядом несомненных преимуществ для решения многих технологических задач. Широкое внедрение в практику и дальнейшее развитие описанных выше технологий и расширение области их применения позволит эффективно и безопасно решать отдельные специфические задачи промышленности, строительства и социальной сферы. При этом технологии, базирующиеся на разрядно-импульсном воздействии, обладает экологической чистотой, относятся большей частью к

энергосберегающим, что полностью соответствует современным тенденциям и требованиям, предъявляемым к вновь разрабатываемым и внедряемым технологиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мнухин А.Г., Мнухин М.А., Мнухин В.А. Разработка электрогидравлической установки “Импульс-3” для очистки тепломагистралей и теплообменных аппаратов от накипи //Научный вестник НГА Украины. - Днепропетровск: РИК НГА Украины. - 2000. - № 2. - С. 32-35.
2. Мнухин А.Г., Емельяненко В.И., Горошко И.П., Мнухин М.А., Мнухин В.А. Разработка многофункциональной электрогидравлической установки “Импульс-4” Вісник Академії інженерних наук України 1/12/2001. - С. 3-8.
3. Мнухин А.Г., Мнухин М.А., Мнухин В.А. Очистка труб шахтного водоотлива без нарушения технологического процесса XXI столетие – проблемы и перспективы освоения месторождений полезных ископаемых: сб. научн. трудов НГА Украины. - Днепропетровск: РИК НГА Украины. - 1998. - № 3. - Т.6. - С. 155-157.
4. Мнухин А.Г., Уманская Е.А., Подлужный А.Г., Мнухин В.А. Применение электрогидравлического эффекта для очистки водоохлаждаемых конструктивных элементов в печах отжига центробежно литых труб // Металл и литье Украины.- 2000. - № 7-8. - С. 19-20.
5. Мнухин А.Г., Брюханов А.М., Горошко И.П., Емельяненко В.И., Насонов С.В. Электрогидравлика – метод разрушения бетонных массивов //Промышленное и гражданское строительство. - 2001. - № 8. - С. 53-55.
6. Сытник И.А. Электрогидравлическое действие на микроорганизмы. -К.: Здоровье, 1982.

Recenzent: Dr inż. Piotr Gawor

Abstract

In the paper, use of effects occurred with high-voltage electric impulse discharge in liquids (mainly in water) has been shown. High pressure (up to $1,5 \times 10^3$ MPa) arising during the discharge may be useful for mining activities like rock blocks breaking up or cleaning the internal walls of main dewatering pipelines. This technology is applied in the others branches of industry, e.g.: concrete foundations crushing, pipe cleaning, encrustation removing (specially from underwater parts of ships). Specification of electro-pressure devices as “Impuls” has been presented.

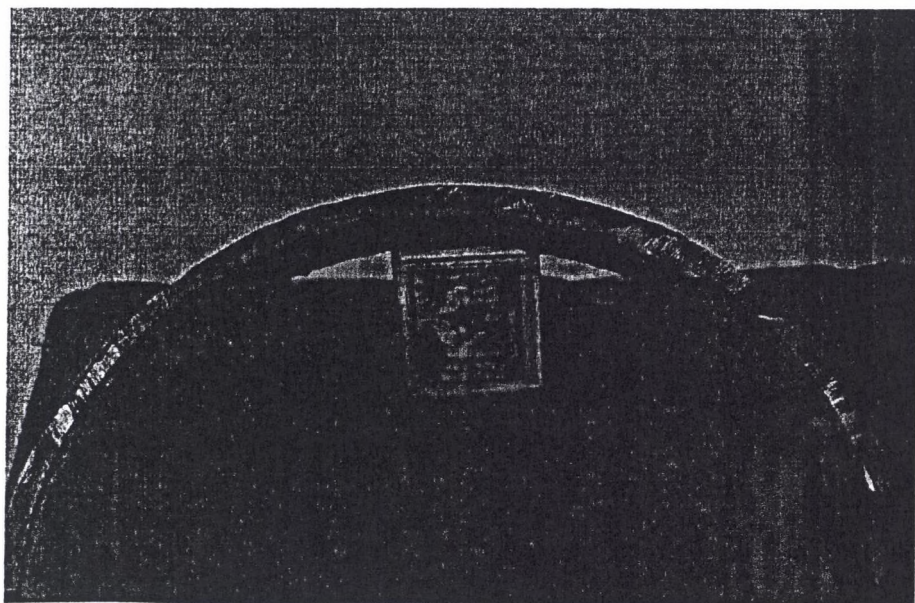
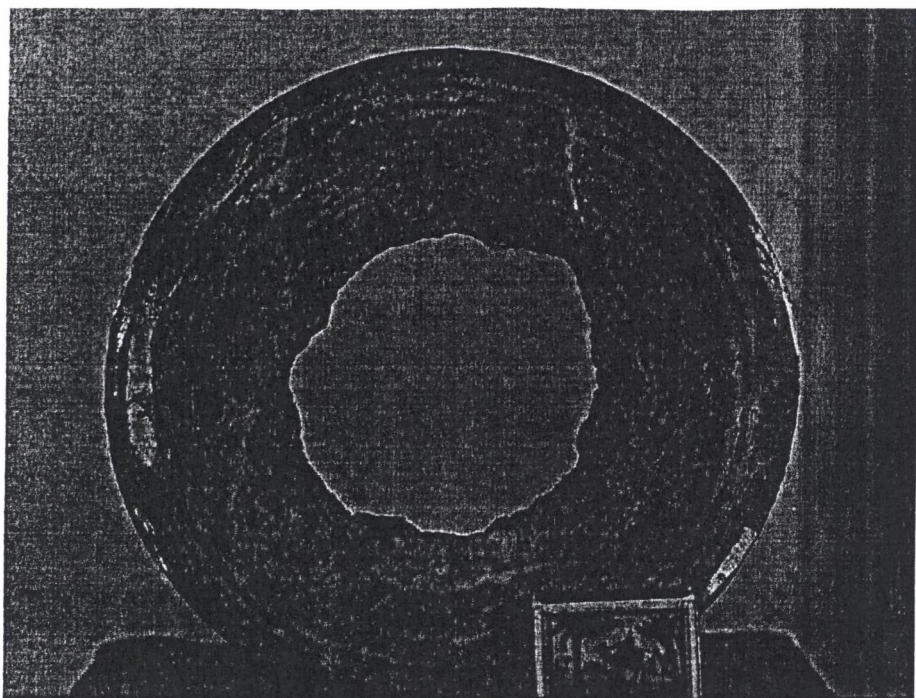


Рис. 1. Фрагмент трубы шахтного водоотливного става: а) до очистки б) после очистки

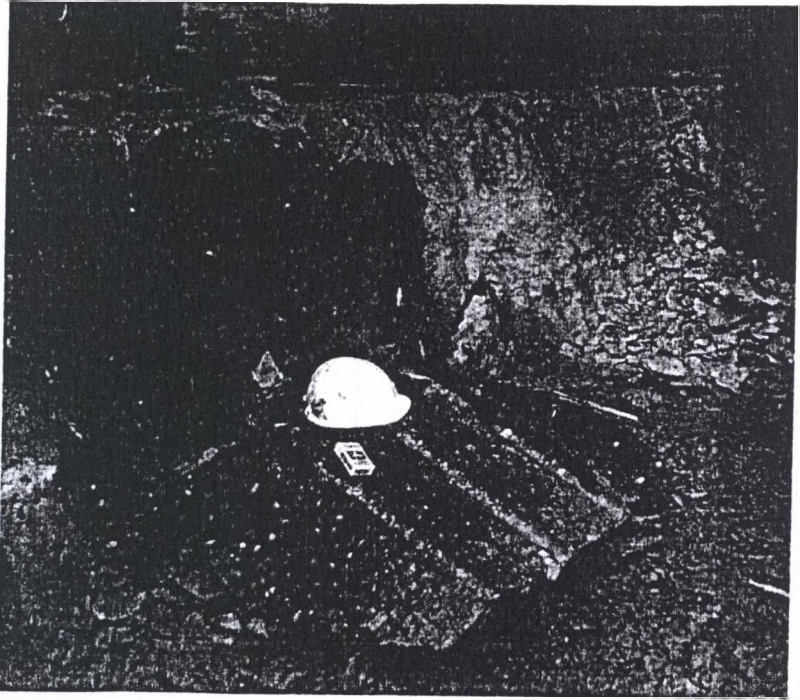


Рис. 2. Фрагмент дсмнтируемого фундамента после электрогидравлического воздействия

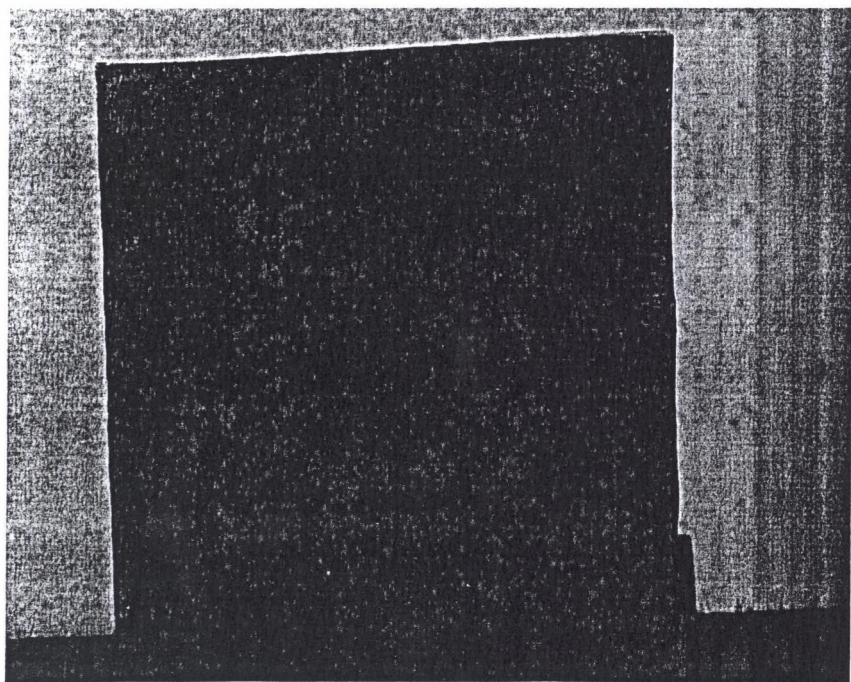
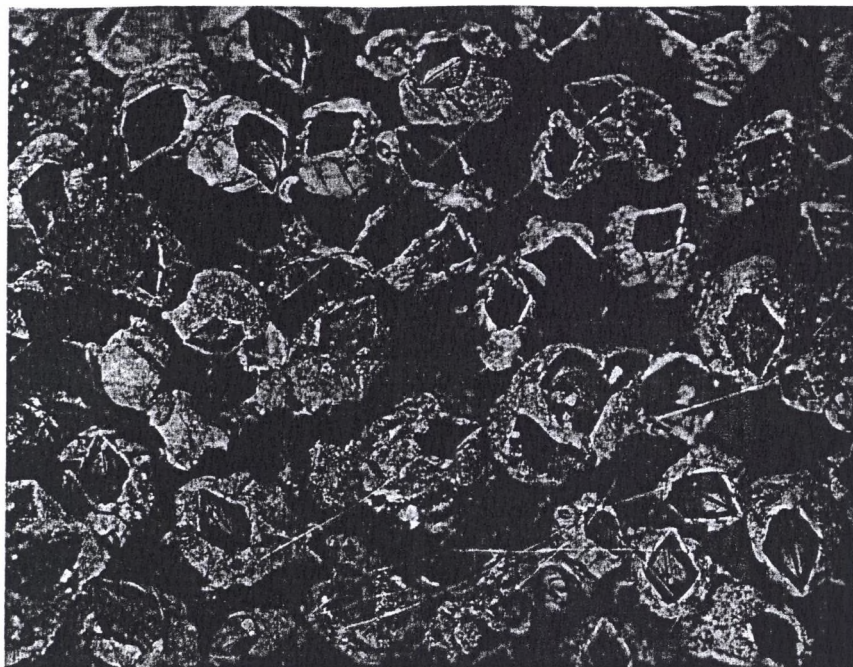


Рис. 3. Фрагмент борта судна а) до очистки от обрастателей б) после очистки от обрастателей