

Министерство образования и науки Российской Федерации
Саратовский государственный технический университет

В.И. Воронин

**ОТКАЧКА ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ
КАМЕРНЫМ И ГНЕЗДОВЫМ СПОСОБАМИ**

Саратов 2010

УДК 621.373.002

ББК 32.851

В 75

Рецензенты:

Доктор технических наук, генеральный директор ООО «Рефлектор-Холдинг»

Н.Г. Кузьмин

Доктор технических наук, профессор

Саратовского государственного технического университета

В.А. Царев

Доктор технических наук, профессор

Саратовского филиала института радиотехники и электроники

им. В.А. Котельникова РАН

Р.К. Яфаров

Воронин В.И.

В 75 Откачка электровакуумных приборов камерным и гнездовым способами: монография / В.И. Воронин; под ред. доктора технических наук Г.В. Конюшкова. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2010. 176 с.
ISBN 978-5-7433-2292-3

Изложены принципы и практические рекомендации по разработке высокопроизводительных способов откачки электровакуумных приборов (камерного и гнездового), приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований процессов откачки электровакуумных приборов различных типов, а также конструкции оборудования для индивидуальной и групповой камерной откачки электровакуумных приборов; исследованы технологические приемы, обеспечивающие сокращение циклов откачки и улучшение выходных параметров приборов.

Для инженерно-технических работников, занимающихся вопросами разработки высокопроизводительных технологических процессов и оборудования для откачки электровакуумных приборов, и для студентов, обучающихся по специальности «Электронное машиностроение».

Ил. 131. Табл. 7. Библиогр. 62 назв.

УДК 621.373.002

ББК 32.851

ISBN 978-5-7433-2292-3

© Саратовский государственный
технический университет, 2010

© Воронин В.И., 2010

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	5
Введение.....	6
1. Технологические процессы откачки электровакуумных приборов с сокращенными циклами	8
2. Технологический процесс камерной откачки электровакуумных приборов.....	15
3. Влияние разнесения частей при камерной откачке электровакуумных приборов на проводимость зазора между частями.....	24
3.1. Схемы камерной откачки электровакуумных приборов	24
3.2. Определение проводимости зазора между разнесенными частями прибора при камерной откачке	28
3.3. Определение зависимости проводимости зазора от величины разнесения частей прибора при камерной откачке	31
3.4. Обоснование структурной схемы типового технологического процесса камерной откачки электровакуумных приборов	35
4. Особенности камерного и гнездового способов откачки электровакуумных приборов	38
4.1. Взаимодействие газов с металлическими поверхностями при откачке электровакуумных приборов	38
4.2. Распределение газовых потоков в межэлектродном пространстве электровакуумных приборов при камерной откачке с разнесением частей.....	41
5. Влияние камерной откачки на параметры электровакуумных приборов.....	51
6. Технологическая подготовка АСУТП многономенклатурного участка откачки электровакуумных приборов.....	61
7. Камерная откачка приборов типа лампы бегущей волны с разнесением частей	68
7.1. Описание конструкции и принцип действия лампы бегущей волны	68
7.2. Анализ базового технологического процесса откачки лампы бегущей волны	70
7.3. Разработка усовершенствованной технологии откачки лампы бегущей волны	74
7.4. Влияние усовершенствованной технологии откачки на параметры лампы бегущей волны.....	76
8. Камерная откачка электровакуумных приборов с разнесением и экранированием электродов.....	81

9. Технология камерной откачки митронов с разнесением частей.....	88
9.1. Описание объекта исследования	88
9.2. Технологический процесс камерной откачки митронов.....	90
9.3. Анализ технологии откачки митронов через щелевой зазор.....	91
9.4. Определение оптимальной проводимости зазора между частями генератор–оболочек митронов при откачке	94
9.5. Влияние камерной откачки с оптимальным разнесением частей на вакуумные и электрические параметры митронов	96
10. Технологический процесс камерной откачки и герметизации больших гибридных интегральных схем.....	99
10.1. Анализ технологических процессов и оборудования для герметизации больших гибридных интегральных схем	99
10.2. Оборудование для герметизации корпусов больших гибридных интегральных схем микроплазменной сваркой.....	104
10.3. Технологический процесс камерной откачки и герметизации больших гибридных интегральных схем	108
11. Камерная откачка вакуумных конденсаторов.....	112
12. Камерная откачка и герметизация диффузионной сваркой вакуумных реле.....	119
13. Камерная откачка вакуумных дугогасительных камер.....	125
14. Гнездовая откачка электровакуумных приборов с ионно- плазменной очисткой электродов	129
15. Высокопроизводительное оборудование для камерной откачки электровакуумных приборов.....	143
15.1. Высоковакуумная установка с инфракрасным нагревателем для камерной откачки электровакуумных приборов	143
15.2. Универсальная вакуумно-водородная установка для сборки узлов и камерной откачки электровакуумных приборов.....	148
15.3. Полуавтомат камерной откачки малогабаритных электровакуумных приборов	151
15.4. Высоковакуумная установка для камерной откачки электровакуумных приборов	155
15.5. Установка камерной откачки и герметизации больших гибридных интегральных схем	157
15.6. Установка камерной откачки митронов на базе откачного поста ЛМ-4850.....	164
15.7. Практические рекомендации по проектированию технологической оснастки для камерной откачки электровакуумных приборов.....	169
Заключение	171
Библиографический список	173

ПРЕДИСЛОВИЕ

Первый электровакуумный прибор был изготовлен более ста лет назад благодаря изобретению оксидного катода и способов создания и поддержания высокого вакуума в полости прибора. Эти приборы имели низкую долговечность вследствие несовершенства технологии откачки. С тех пор проведены многочисленные исследования по созданию высокоэффективных эмиттеров электронов и технологических процессов производства, что позволило увеличить долговечность приборов до десятков и сотен тысяч часов. Однако до сих пор не создана теория, рассматривающая систему «прибор – катод – средства откачки» как единую многокомпонентную многофазную систему и описывающая всю совокупность физико-химических процессов, протекающих в этой системе на всем жизненном цикле прибора – от изготовления до эксплуатации. Создание такой теории позволяет разработать принципы совершенствования технологии, конструкции и системного анализа причин брака и отказов приборов. Сложность создания теории откачки связана с большим многообразием физико-химических процессов, протекающих в приборах при изготовлении и эксплуатации.

Наиболее ответственными процессами при производстве электровакуумных приборов являются процессы их откачки и герметизации. Существующие процессы откачки электровакуумных приборов через штенгель с ограниченной проводимостью приводят к ухудшению их вакуумных и электрических характеристик.

В книге обобщены работы по созданию высокопроизводительных способов откачки – камерного и гнездового, приводящих к сокращению длительности циклов откачки и улучшению параметров приборов, в том числе к увеличению их долговечности.

В связи с быстроменяющейся номенклатурой и малой серийностью выпуска некоторых типов приборов разработан типовой технологический процесс откачки и методика технологической подготовки производства в условиях многономенклатурного автоматизированного участка откачки по «модульному» принципу.

Разработанные модели камерного и гнездового способов откачки позволяют оптимизировать длительность обезгаживания приборов при откачке, определить параметры откачного оборудования, установить зависимость между быстрой откачкой приборов и величиной разнесения частей.

Исследована возможность устранения взаимного влияния электродов при их экранировании во время откачки. Исследован способ гнездовой откачки мощных электровакуумных приборов с ионно-плазменной очисткой электродов, приводящий к сокращению цикла откачки и улучшению эмиссионных характеристик катодов.

ВВЕДЕНИЕ

Все большее внедрение автоматики и телемеханики в народное хозяйство нашей страны выдвигает требование создания большого количества различных электровакуумных приборов (ЭВП). Долговечность и надежность работы важнейших объектов промышленности зависит от качества, надежности и долговечности ЭВП. Неуклонное повышение качества и технологического уровня всех выпускаемых электровакуумных приборов, наряду с дальнейшим увеличением масштабов производства, является важной задачей электронной промышленности.

В производстве электронных приборов одним из элементов качества считается надежность, то есть способность прибора сохранять параметры в определенных пределах при работе в заданных условиях в течение установленного времени.

Уровень современной техники предъявляет к ЭВП все более жесткие требования по безотказной работе - длительная вибрация, многократные включения, работа в «дежурном» режиме, отсутствие коротких замыканий, повышенное и пониженное давление окружающей среды, длительное хранение и др.

Технологические процессы изготовления приборов, и особенно процесс откачки, оказывают сильное влияние на качество, а следовательно, и на процент выхода годных приборов и их надежность. При обработке ЭВП на откачном посту решается задача не только получения вакуума в нем, но и условий, способствующих поддержанию вакуума, неизменности свойств поверхностей электродов в процессе эксплуатации прибора.

Основной задачей откачки является удаление газов из объема прибора, как свободных, так и растворенных в деталях и оболочке. Для этого необходим длительный нагрев оболочек и деталей прибора при высокой температуре и непрерывной откачке. Наличие максимально низкого давления в объеме прибора при его обезгаживании и в момент герметизации позволяет снизить величину остаточного давления газов в приборе.

Эти повышенные требования к ЭВП приводят к разработке новых, более совершенных способов получения вакуума и новых, более эффективных технологий изготовления и откачки ЭВП.

Повысить эффективную быстроту откачки приборов можно, применяя камерную откачку с разнесением частей. Одним из основных условий при разработке технологии камерной откачки ЭВП является обеспечение наибольшей эффективной быстроты откачки, при которой

достигается наиболее низкое давление во внутренней полости прибора при откачке и наилучшее обезгаживание его внутренней арматуры.

Наиболее важным фактором, влияющим на эффективную быстроту откачки прибора (при прочих равных условиях: начальное газосодержание в материалах деталей, способ подготовки деталей, температура обезгаживания, способ герметизации оболочки), является величина проводимости зазора между разнесенными частями, определяемая величиной разнесения частей прибора.

Вторым важным преимуществом камерной откачки ЭВП с разнесением частей является возможность устранения отрицательного взаимного влияния термокатода и подвергающихся электронной бомбардировке электродов. Этот вопрос – второй важный этап при разработке технологии камерной откачки ЭВП с разнесением частей.

Анализ литературных данных и данных предприятий электронной промышленности показывает, что исследований, посвященных выбору оптимального расстояния между частями, способствующего устранению взаимного влияния электродов, не проводилось. Поэтому такие исследования являются своевременными и позволяют оптимизировать технологию камерной откачки ЭВП.

Выбор расстояния между частями прибора при откачке влияет не только на величину эффективной скорости откачки прибора и степень взаимного влияния электродов, но и на конструктивные особенности технологического оборудования.

При этом недостаточное разнесение частей не обеспечивает эффективной быстроты откачки прибора, а излишнее разнесение частей приводит к усложнению механизмов герметизации и увеличению габаритов и стоимости технологического оборудования.

Таким образом, принцип разнесения частей прибора при камерной откачке «чем дальше, тем лучше» не является рациональным и не позволяет оптимизировать процесс откачки.

В книге определены оптимальные условия камерной откачки ЭВП с разнесением частей, обеспечивающие наиболее низкое давление в приборе во время камерной откачки и эксплуатации, способствующие наиболее полному устранению отрицательного взаимного влияния электродов, а также позволяющие снизить стоимость и повысить эффективность технологического оборудования.

Шероховатость поверхности деталей оснастки должна быть – $\sqrt{Ra0,25}$, шероховатость поверхности точных базовых поверхностей, соприкасающихся с изделием, – $\sqrt{Ra0,63}$.

При герметизации приборов диффузионной сваркой возможно прилипание металла прибора к металлу оправок. Для предотвращения этого детали оснастки предпочтительно изготавливать из специальных жаропрочных сталей или из нержавеющей стали 12Х18Н10Т с последующим отжигом во влажном водороде для образования стойких соединений хрома на поверхности. Доводка деталей оправок до необходимой точности должна производиться после отжига в водороде.

Большое значение при высоковольтной обработке ЭВП имеет качество изоляции выводов, которое может ухудшаться при напылении материала оправок на керамику. Для устранения напыления конструкция оснастки должна предусматривать наличие защитных экранов из тугоплавких материалов (ниобий, тантал, титан).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследованиям, связанным с разработкой современного откачного оборудования и высокопроизводительных технологических процессов для обеспечения производства высококачественных и долговечных электровакуумных приборов (ЭВП) при минимальной продолжительности производственного процесса, постоянно уделяется повышенное внимание, как в отечественной, так и в зарубежной литературе. Актуальность этих исследований обусловлена, в том числе, необходимостью поиска возможностей повышения технического уровня ЭВП и снижения энергозатрат при промышленном выпуске данных приборов.

В то же время, теоретических и экспериментальных исследований, направленных на совершенствование процессов откачки приборов при повышенных уровнях температур, явно недостаточно, и приведенные в монографии исследования высокопроизводительных способов откачки и высоковакуумного оборудования для камерной и гнездовой откачки являются актуальными и своевременными.

Современные технологии, конструкции, повышение эффективности производства возможны только при рассмотрении системы «прибор-катод-откачные средства» как единой системы, что достаточно полно представлено в монографии. Основными недостатками традиционных технологических процессов откачки ЭВП являются значительная длительность процессов и их неудовлетворительная воспроизводимость, что приводит к необходимости индивидуальной отработки технологии откачки каждого прибора. Предлагаемые автором системный подход к разработке технологий откачки, алгоритм обработки режимов отдельных операций на базе типового технологического процесса позволяют унифицировать технологии откачки большинства приборов, что особенно важно в условиях многономенклатурного мелкосерийного автоматизированного производства. При этом время технологической подготовки производства сокращается в 10...15 раз.

Проведенные исследования камерного и гнездового способов откачки показали возможность применения форсированных и совмещенных режимов термо-вакуумной обработки ЭВП, а также осуществления их групповой откачки.

В монографии впервые приведены результаты камерной откачки ЭВП с оптимальным разнесением и экранированием электродов (анод-катод), что приводит к устранению отрицательного взаимного влияния электродов и уменьшению напыления на керамические изоляторы. Впервые проведен теоретический анализ и на его основе разработан технологический процесс гнездовой откачки мощных генераторных ламп (МГЛ) с ионно-плазменной очисткой (ИПО) электродов, позволяющий

проводить очистку электродов, применить форсированные режимы обработки электродов и осуществить вакуумно-термическую обработку прибора за счет нагрева электродной системой и герметизацию диффузионной сваркой.

В работе предложены новые способы и методики для камерной откачки и контроля газосодержания приборов в процессе откачки, что позволило разработать и создать уникальные технологии и оборудование для откачки ЭВП различных типов; разработаны требования к технологическому оборудованию и показана их реализация в конкретных промышленных установках с высокими эксплуатационными характеристиками.

Представленные в работе теоретические и экспериментальные результаты являются перспективными, обобщающими и могут быть использованы при разработке технологических процессов откачки приборов практически всех типоразмеров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черепнин Н.В. Основы очистки, обезгаживания и откачки в вакуумной технике / Н. В. Черепнин. - М.: Советское радио, 1967. - 408 с.
2. А.с. №234527 СССР. Способ обезгаживания электродов и арматуры электронных и ионных приборов / А.Г. Денисов, В.И. Перфилов, Ю.С. Спиридонов//Б.И. 1969. № 4.
3. А.с.№2637511СССР. Способы очистки деталей металлокерамических радиоламп / А.П. Краснов // Б.И. 1972. №8.
4. А.с. № 352335 СССР. Способ очистки электровакуумного прибора в процессе откачки / Ю.С. Спиридонов // Б.И. 1972. №28.
5. А.с. № 290343 СССР. Способы обработки электровакуумных и газоразрядных приборов / Э.П. Гель, Ю.С. Спиридонов // Б. И. 1970. № 2.
6. А.с. № 452879 СССР. Способ очистки внутренних поверхностей электровакуумных приборов / В.М. Геллер, М.С. Чахнов // Б. И. 1977. №28.
7. А.с. №855784 СССР. Способ очистки электродов электровакуумных приборов / А.Я. Фискис // Б. И. 1981. №30.
8. А.с. №511646 СССР. Способ обезгаживания элементов электронных приборов / В.В. Сухомлинов, А.И. Шимко // Б.И. 1976. №15.
9. Электрофизические способы очистки поверхностей деталей в электровакуумном производстве // ЦСНТЭИ. 1975. №7.
10. Ингберман М.И. Оптимальные режимы применения и эксплуатации электровакуумных приборов / М.И. Ингберман, М.С. Эпштейн. - М.: Радио и связь, 1985.- 134 с.
11. Волчкевич А.И. Анализ режимов и методов технологии откачки ЭВП с целью их регламентации / А.И. Волчкевич. - М.: Проспект, 1978. Вып. 3. - 81с.
12. Воронин В.И. Основные направления и результаты работ по сокращению длительности откачки ЭВП / В.И. Воронин, В.И Хоботов, Н.А. Решникова // Электроника СВЧ.1978. Сер.4, вып. 1 (109). С. 17-22.
13. Орлов К.Н. Разработка и внедрение в производство процесса откачки ЭВП с сокращенной в 2 - 3 раза длительностью / К.Н. Орлов, Н.И Батурина, В.Н. Добренченко. – М.: Проспект, 1979. Вып.4. 90с.
14. Герасимов А.Н. Плазменная технология / А.Н. Герасимов. - Л.: Лениздат, 1980. - 152с.
15. Воронин В.И. Гнездовая откачка электровакуумных приборов с ионно-плазменной очисткой электродов / В.И. Воронин, А.А. Лемякин // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2008. №2 (32), вып.1. С. 120-126.
16. Сытник А.Н. Криодокачка остаточных газов из ЭВП / А.Н. Сытник, С.И. Переварюха // Электронная техника.1978. Сер. 1. №1.С. 85-88.
17. Решникова Н.А. Системный подход к управлению технологией обезгаживания во время откачки / Н.А. Решникова // Специальная электроника. – «Электроника СВЧ». 1973. Сер. 1, вып. 12.С. 97-100.

18. Орлов К.Н. Разработка и внедрение в серийное производство унифицированного процесса откачки ЭВП с целью сокращения цикла откачки в 2 раза / К.Н. Орлов, Т.Б. Демешкевич, Н.М. Батурина. – М.: Проспект, 1978. Вып. 3. - 82с.
19. Федоров М.И. Исследование откачного оборудования с целью обеспечения требований откачки ЭВП по сокращенному циклу / М.И. Федоров, Ю.П. Кирнос // Электронная техника. 1981. Сер. 7, №1. С. 41-44.
20. Воронин В.И. Технологические процессы откачки электровакуумных приборов с сокращенными циклами / В.И. Воронин, А.А. Лемякин // материалы XVI науч.-техн. конф. Вакуумная наука и техника. - М.: МГИЭМ, 2009. С. 198-200.
21. Воронин В.И. Распределение газовых потоков в межэлектродном пространстве приборов при гнездовой откачке / В.И. Воронин, А.А. Лемякин // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2009. №2 (38), вып.1. С. 143-149.
22. Воронин В.И. Влияние экранирования катода на запыление электродов и электрические параметры ЭВП при откачке / В.И. Воронин, Г.В. Конюшков, М.И. Федоров // Электронная техника. 1978. Сер. 10, вып.4 (95). С. 23-28.
23. Савостин С.А. Изменения термоэлектронной эмиссии оксидного катода и состава его покрытия в процессе длительной работы / С.А. Савостин, И.Л. Тараш, Б.М. Царев // Электронная техника. 1969. Сер. 1, вып.4. С. 18-22.
24. Преображенский О.В. Масс-спектрометрическое исследование технологического процесса откачки и тренировки МГЛ / О.В. Преображенский, В.Г. Петарский, С.В. Брук // Электронная техника. 1973. Сер. 4, № 5. С.111-116.
25. Воронин В.И. Предварительная обработка оксидных катодов / В.И. Воронин, С.В. Семенов // Актуальные проблемы электронного приборостроения: тр. конф. - Саратов, 1994. С. 148-149.
26. Перевозникова Я.В. Откачка электровакуумных приборов через короткий штенгель / Я.В. Перевозникова, В.И. Воронин // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2009. №2(38). Вып.1. С. 159-163.
27. Воронин В.И. Термическая обработка оксидных покрытий катодов / В.И. Воронин, Г.В. Конюшков, Я.В. Перевозникова // Быстрозакаленные материалы и покрытия: тр. 6-й Всерос. с междунар. участием науч.-техн. конф. - М.: МАТИ, 2007. С. 108-114.
28. Никонов Б.П. Физико-химические процессы, происходящие при откачке и тренировке ламп с оксидным катодом / Б.П. Никонов // Электроника. 1968. №12. С. 97-101.
29. Воронин В.И. О некоторых особенностях камерной откачки приборов с разнесением частей / В.И. Воронин, В.А. Антонов, Р.А. Полякова. – М.: ЦНИИ Электроника. Деп. №2606/74, 1974. - 12 с.
30. Воронин В.И. Влияние экранирования катода на запыление электродов и электрические параметры ЭВП при откачке / В.И. Воронин, Г.В. Конюшков, М.И. Федоров // Электронная техника. 1978. Сер. 10, вып.4 (95). С. 23-28.

31. Воронин В.И. К вопросу определения оптимальных условий камерной откачки электровакуумных приборов / В.И. Воронин, В.А. Антонов, Д.С. Дудников // Электронная техника. 1974. Сер. 7, вып. 1(58). С.72-79.
32. Воронин В.И. Влияние разнесения частей экспериментальных диодов на продолжительность процесса откачки и параметры приборов / В.И. Воронин, В.А. Антонов, А.И. Голованов // Электронная техника. 1971. Сер. 10, вып.7 (47). С. 25-30.
33. Пипко А.И. Конструирование и расчет вакуумных систем / А.И. Пипко, В.Я. Плисковский, Е.А. Пенчко. - М.: Энергия. 1979. - 504 с.
34. Воронин В.И. Влияние способа герметизации на параметры приборов при откачке с разнесением частей / В.И. Воронин, В.А. Антонов, А.И. Голованов // Электронная техника. 1971. Сер. 10, вып.8(48). С. 38-42.
35. Конюшков Г.В. Соединение узлов электровакуумных приборов при камерной и гнездовой откачке / Г.В. Конюшков, В.Н. Масленников. - Л.:ЛДНТП, 1979. - 28 с.
36. Белоусов А.А. Совмещенные режимы откачки / А.А. Белоусов // Электроника, 1958. Сер.4, №11. С. 28-29.
37. Антонов В.А. Влияние выбора агрегата откачки на формирование характеристик катода электровакуумного прибора / В.А. Антонов, Ю.Н. Шанин // Электронная техника. 1969. Сер. 10, вып. 5(44). С. 34-36.
38. Воронин В.И. Некоторые вопросы герметизации электровакуумных приборов при откачке из разнесенных частей / В.И. Воронин, В.А. Антонов, В.В. Заветный // Технология электровакуумного производства. 1969. №8 (15). С. 10-17.
39. Язава А.А. Простой метод определения степени термического разложения карбоната бария в вакууме / А.А. Язава // VI межвуз. науч.-техн. конференция: сб. науч. тр. - М.: МГТУ, 1970. - С. 109-112.
40. Краснов А.П. Изучение пропускной способности зазоров титано-керамических ламп в процессе откачки / А.П. Краснов, В.Д. Стрельников // Электронная техника. 1967. Сер. 5, вып. 3. С. 38-42.
41. Жолобов С.П. Изучение бесштенгельной откачки металокерамических приборов / С.П. Жолобов, В.Д. Саратовкин // Электронная техника. 1966. Сер. 5, вып. 1. С. 13-17.
42. Краснов А.П. О влиянии режимов вакуумной откачки на качество ЭВП с оболочкой из титана и керамики / А.П. Краснов, Г.Я. Антипов // Тезисы III Всесоюз. конф. по физике и технике высокого вакуума. - Л., 1971.- С. 13.
43. Краснов А.П. Исследование остаточных газов в малогабаритных титано-керамических лампах СВЧ-диапазона и условия их бесштенгельной откачки: автореф. дис....канд. техн. наук / А.П. Краснов. – Томск: Томский политехн. ин-т, 1972. - 22 с.
44. Волчкевич А.И. Влияние откачной системы на процесс обезгаживания материалов / А.И. Волчкевич // Тезисы III Всесоюз. конф. по физике и технике высокого вакуума. – Л.: Проспект, 1971. - С. 13.
45. К вопросу об откачке электровакуумного прибора из разнесенных частей / С.Ф. Будников, В.А. Антонов, Б.П. Чесноков, А.Н. Любименко // Электронная техника. 1971. Сер. 10, вып. 3 (43). С. 18-22.
46. Воронин В.И. Опыт по переводу вакуумных дугогасительных камер на бесштенгельную откачку / В.И. Воронин, В.В. Муллин // Вестник