

**РЕГЕНЕРИРОВАНИЕ СТЕКЛЯННЫХ РТУТНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ***КУРИН Н. П.*

Стеклянные ртутные выпрямители широко применяются в технике для превращения переменного тока в постоянный. Во время Отечественной войны, в результате блокады Ленинграда, выпуск новых стеклянных ртутных выпрямителей прекратился и механизированная электрооткатка угля в шахтах Кузбасса оказалась под угрозой срыва. Пополнение вышедших из строя выпрямителей типов ЗВН 100 и ЗВН 100/500 путем организации изготовления новых, по ряду причин, не представлялось возможным, и поэтому, по просьбе Кузбассугля и Наркомата угольной промышленности, нами был разработан способ регенерирования отработанных стеклянных ртутных выпрямителей любых марок.

**Неисправности отработанных выпрямителей**

Не останавливаясь на описании типов и конструкций различных ртутных выпрямителей, так как эти сведения имеются в литературе [1], мы укажем, что ртутные выпрямители могут работать лишь до тех пор, пока исправна электрокоммуникация и в выпрямителе сохраняется достаточно высокий вакуум.

Согласно нашим наблюдениям, при эксплуатации появляются следующие неисправности выпрямителей: расплавление припоя, создающего контакт между цоколями и металлическими вводами электродов, потеря вакуума вследствие наличия или появления мельчайших, часто невидимых для глаза, каналов и трещин во вводах молибденовых стержней, а также в стеклянных стенках, скрытых под цоколями электродов; потеря вакуума при полной исправности всех частей выпрямителя, вследствие десорбции адсорбированных газов, если они плохо удалены заводом изготовителем; потемнение рогов главных анодов, анодов возбуждения и корпуса колбы за счет распыления электродов и разложения органических примесей; дырчатые проплавления, трещины, поломки и бой стеклянных частей выпрямителя.

Все перечисленные повреждения обуславливаются неизбежностью некоторых процессов (напр., медленное распыление электродов), неправильностью режима эксплуатации (перегревы при перегрузке и выключение охлаждения) и грубым обращением обслуживающего персонала.

**Техника регенерирования**

Нахождение и устранение неисправностей электрокоммуникации (напр., нарушение контакта между цоколями и молибденовыми вводами электродов) не вызывают существенных затруднений и осуществляются обычными электротехническими методами.

Паяльные работы при восстановлении стеклянных деталей необходимо начинать с тщательной очистки всех внутренних поверхностей выпрямителя, так как в последующем это ускорит процесс эвакуирования и созда-

ния, устойчивого высокого вакуума. Для этого внутренние стенки колбы, анодных рогов и отростков зажигания, путем промывания периодически сменяемой чистой сухой ртутью, тщательно очищаются от налетов и порошкообразных осадков, способных удерживать значительные количества адсорбированных газов; если это окажется недостаточным, то применяется протирание чистой тряпкой, промывание 5%-ным раствором азотной кислоты и дистиллированной водой, следя за тем, чтобы жидкость не намочила электроды. Вновь монтируемые графитные электроды для разрушения занесенных на их поверхность органических загрязнений (например, жир и пот с пальцев стеклодува) предварительно прокаливаются в пламени паяльной горелки.

Восстановление стеклянных деталей (трещины, поломки рогов главных анодов, анодов возбуждения, отростка зажигания, ввода катода и нижней цилиндрической части колбы) производится методом спайки в пламени светильного или водяного газа [2]. залогом прочности получаемых спаев является чистота обрабатываемых поверхностей и применение одного и того же сорта (молибденового) стекла. Если несмотря на предварительную очистку в месте обрабатываемого огнем спая появляются раскалинные добела небольшие пятна и точки, то это указывает на присутствие загрязнений и их необходимо удалить путем стягивания части стекла стеклянной палочкой или пинцетом, в противном случае после охлаждения в загрязненном спае возникнут трещины.

Придерживаясь указанных правил, восстановление стеклянных деталей без существенных затруднений может выполняться стеклодувом средней квалификации, если в его распоряжении имеются в достаточном количестве светильный или водяной газ, стационарные и ручные горелки.

После указанных исправлений в выпрямитель должна заливаться чистая ртуть; при пользовании грязной ртутью затрудняется процесс создания устойчивого высокого вакуума, вследствие медленного выделения из нее растворенных газов и паров.

Как показали наши опыты, для удаления окисной пленки достаточно ртуть тонкой струей пропустить через бумажный фильтр с наколотым тонким отверстием, а затем для извлечения металлических примесей промыть ее 5%-ным раствором азотной кислоты [3] и дистиллированной водой. Очищенную таким образом ртуть перед заливкой в выпрямитель необходимо нагреть до температуры кипения, при этом из нее выделяется большая часть водяных паров и растворенных газов.

Наиболее сложной, трудной и длительной частью регенерирования стеклянных ртутных выпрямителей является создание в них устойчивого высокого вакуума. Как известно [1], высокий вакуум обеспечивает устойчивое горение вольтовой дуги, вентильное ее действие и сводит к минимуму возможность появления так называемых „обратных зажиганий“, губительно отражающихся на сохранности выпрямителя. Между тем, составные части воздуха—азот, кислород, углекислый газ, водяной пар и др. примеси не только заполняют внутренний объем подготовленного к эвакуированию выпрямителя, но адсорбируются и прочно удерживаются стеклянными стенками и графитными электродами [3]. Кроме того, в процессе паяльных работ выпрямитель может стеклодувом заражаться органическими примесями, способными при нагревании разлагаться с выделением газов и паров.

Схема установки для эвакуирования изображена на рис. 1.

Основными ее особенностями являются: 1) возможность нагревания стеклянных стенок выпрямителя и его графитных электродов до повышенных температур с целью ускорения десорбции адсорбированных газов и паров и разложения органических примесей; 2) возможность создания высокого вакуума.

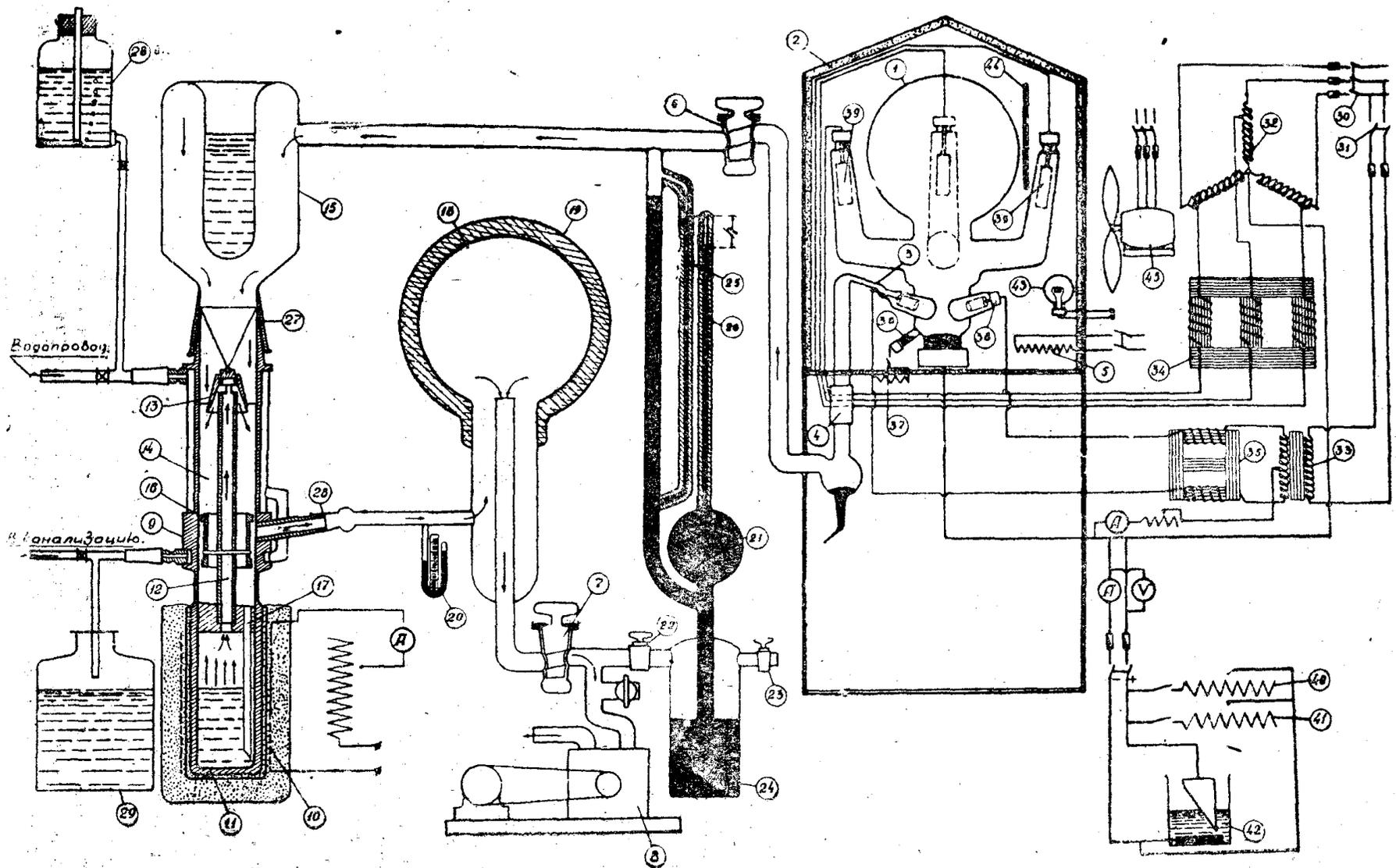


Рис. 1. Схема установки для регенерирования стеклянных ртутных выпрямителей.

Как показали наши опыты, газы и пары, заполняющие внутренний объем выпрямителя, эвакуируются быстро, удаление же газов и паров, адсорбированных графитными электродами и стеклянными стенками при комнатной температуре, происходит крайне медленно. Для ускорения этого процесса мы применяли нагревание всего выпрямителя до 185—200°C, а графитных электродов—до температуры красного каления.

По свойствам молибденового стекла нагревание стеклянных стенок выпрямителя вполне возможно доводить до 450°C, что еще больше ускорит процесс десорбции газов и паров. Однако, при принятой нами методике нагревания электродов мы этим с успехом пользовались лишь в тех случаях, когда при монтаже электродных цоколей не были употреблены гипс ( $t$  разлож. = ~ 185°C) [4] и олово ( $t$  плавления = 232°C) [5]. Разумеется, максимальная температура прогрева катодного пространства определялась температурой кипения ртути.

Как известно, на заводах при изготовлении новых выпрямителей нагревание производится в специальных установках, в частности, токами высокой частоты. Для того, чтобы избежать затруднений, связанных с отсутствием соответствующего оборудования, мы для электронагрева применили соответствующие ртутно-выпрямительные установки, которые обычно употребляются предприятиями при эксплуатации колб данного типа (напр., для выпрямителя ЗВН 100/500, ЗВН 100 и 2В 20, соответственно ртутно-выпрямительные установки УРВ-33, УРВ-43 и УРВ-9) [1]. Шкаф (2) этих установок утепляется листовым асбестом, снабжается лампочкой для освещения (43), термометром (44) и нихромовой электронагревательной спиралью (4).

После того как отремонтированная колба (1) залита ртутью, установлена в шкафу выпрямительной установки (2) и соединена с электрокоммуникацией, она через суженный отросток (3) в точке (А) припаивается к вакуумной установке. Гибкость соединения необходимого при зажигании выпрямителя обеспечивается по возможности короткой вставкой (4) из толстостенной вакуумной резины. Затем включается электронагревательная спираль (5) и температура в закрытом шкафу (2) доводится до 185—200°C (или выше). Одновременно с этим при открытых кранах (6), (7) включается масляный форвакуумный насос (8) [3] и после эвакуирования вакуумной установки и выпрямителя до 0.1—0.01 мм ртутного столба, на что обычно затрачивается 20—30 минут, пускается в ход металлический ртутный насос типа Левгюра (9) [2]. Для этой цели включается электронагревательная спираль (10) и образующиеся в испарителе (11) пары ртути по трубке (12) зонтиком (13) направляются в конденсационное пространство холодильника (14), захватывая по пути газы и пары, поступающие из ловушки (15) и колбы (1). Сконденсировавшиеся на стенках холодильника (14) капли ртути стекают между трубкой (12) и защитным цилиндром (16) и через трубку (17) снова попадают в испаритель насоса. Увлеченные ртутным паром газы и пары поступают в 2—3-литровый форвакуумный баллон (18) и оттуда эвакуируются в атмосферу масляным насосом (8). Измерение давления в системе при эвакуировании производится с помощью укороченного ртутного манометра (20) и манометра Мак-Леода (21) [3]. В последнем случае при закрытом кране (22) медленно открывается кран (23) и ртуть из сосуда (24) переводится в манометр (21) до тех пор, пока в капиллярной трубке (25) не достигнет уровня, изображенного на схеме; разность высот столбов ртути  $h$  в капиллярах (25) и (26) позволяет по кривой калибрования или уравнению  $P = ah^2$  определить давление в системе (для нашего манометра величина  $a = 1.85$ ). После отсчета величины  $h$  закрывается кран (7), при закрытом кране (23) открывается кран (22) и за счет эвакуирования ртуть снова переводится в сосуд (24), затем закрывается кран (22) и по истечении 1—2 минут, когда насос (8) снова создаст хороший

форвакуум, открывается кран (7) и откачка продолжается до следующего измерения давления. Для эвакуирования необходимо коммуникацию, соединяющую насос Лангмюра и выпрямитель, делать по возможности короткой и из широких стеклянных трубок, диаметром не менее 10—15 мм. Смазка шлифов (27) и (28) и кранов должна производиться высоковакуумной замазкой [3]. Для охлаждения ловушки (15) следует употреблять смесь твердой углекислоты и этилового спирта или жидкий воздух. Однако, как показали наши опыты, можно отказаться от подобного охлаждения ловушки, если шлифы (27) и кран (6) смазаны хорошей высоковакуумной замазкой, т. к. в этом случае, вследствие малой упругости пара, вероятность попадания органических паров в колбу (1) сводится к минимуму. Охлаждение холодильника ртутного насоса (14) производится водопроводной водой; если водопровод не может обеспечить непрерывного питания, то в этом случае охлаждение можно осуществлять путем циркуляции воды между двумя стеклянными бутылками (28) и (29) емкостью 15—20 литров.

Как только давление в колбе понизится до 0.001—0.008 мм ртутного столба, нагревание прекращается, дверки шкафа открываются, пускается вентилятор (45) и после охлаждения выпрямителя приблизительно до комнатной температуры, он, путем включения рубильников (30) и (31) через автотрансформатор (32), трансформатор возбуждения (33), дроссельные катушки (34) и (35), соединяется с источником переменного тока (3). Путем обычного разрыва ртути в отростке зажигания (36) при осторожном покачивании колбы и включении контакта (37) производится зажигание дуги на анодах возбуждения (38) и главных анодах (39) и через проволочные реостаты (40), (41) или жидкостной реостат (42) отбирается постоянный ток силой 25—50% от номинала, характерного для данного типа выпрямителя (напр., для выпрямителей ЗВН 100 и ЗВН 100/500 это составляет 25—50 ампер; для ЗВН 30 и ЗВ 30—7.5—15; для 2В 6—3 ампера).

Десорбирующиеся с электродов газы и пары непрерывно откачиваются. Если скорость десорбции, зависящая от температуры электродов, а следовательно, и от силы тока, больше скорости откачки, то давление в колбе растет и доходит до пределов, при которых дуга гаснет; путем эвакуирования при повторном нагревании выпрямителя в шкафу (2) до 185—200°C давление в колбе снова понижается до указанного выше предела и затем, после охлаждения, производится повторное зажигание дуги. В результате нескольких зажиганий и откачек дуга начинает устойчиво гореть при указанной силе тока, после чего сила тока с помощью реостатов постепенно повышается и доводится до номинального значения.

При работе вольтовой дуги испаряющаяся в катодном пятне ртуть с большой скоростью устремляется в конденсационный баллон (1) выпрямителя и частично увлекает за собой выделяющиеся из нагретых электродов и стеклянных стенок газы и пары. Последние постепенно накапливаются в верхней части баллона, и для удаления их, через каждые 1—2 часа горения, вольтову дугу целесообразно выключать и откачивать указанные газы. После выключения дуги кривая давления в колбе, как функция времени, проходит через максимум. Это можно объяснить 1) постепенным прекращением засасывающего действия струи ртутных паров, устремляющейся из катодного пятна в конденсационную камеру, в результате чего накопленные газы в куполе колбы распространяются по всему ее объему и 2) выделением газов и паров, адсорбированных мельчайшими каплями ртутного дождя, заполняющего при горении дуги весь объем колбы. Как показывает рис. 2, по мере откачки при чередующихся зажиганиях величина этих максимумов постепенно падает.

Для более интенсивного прогревания электродов и выделения из них наиболее прочно адсорбированных газов и паров, после очередной 1—2-ча

совой работы при номинальной силе тока (напр., для ЗВН 100 и ЗВН 100—500—100 ампер) выпрямитель в течение 5—10 минут перегружается на 50%. Обычно за час непрерывной работы при номинальной силе тока электроды приобретают постоянную температуру, характерную для красного каления; перегрузка выпрямителя на 50% повышает температуру до светлокрасного каления. После откачки до давления  $1 \cdot 10^{-4}$ — $4 \cdot 10^{-4}$  мм ртутного столба, выпрямитель отпаивается ручной паяльной горелкой у

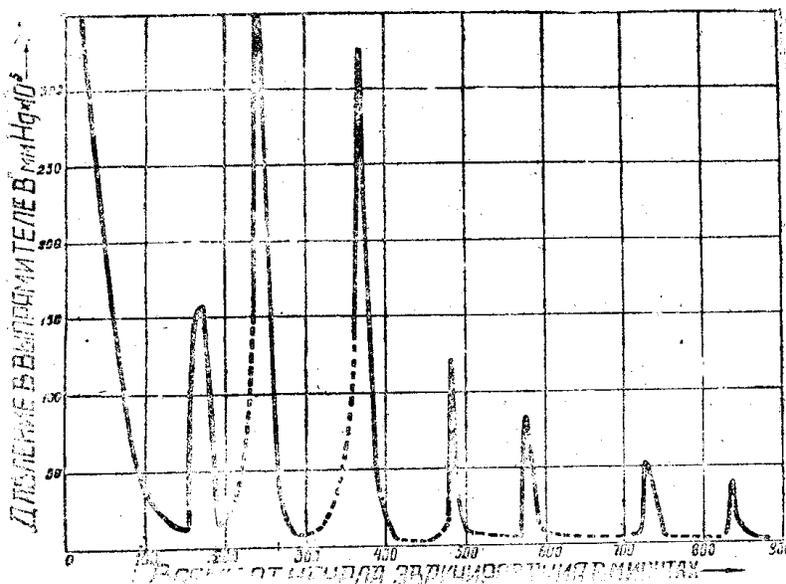


Рис. 2. Зависимость давления в стеклянном выпрямителе от времени эвакуирования. На участках кривых, изображенных пунктиром, производился нагрев электродов.

отростка (3). Во время эвакуирования в производственном журнале следует регистрировать время, температуру, силу и напряжение выпрямленного тока, силу тока на анодах возбуждения (если они есть) и давление в выпрямителе по шкале манометра Мак-Леода.

Те электроды, которые перед эвакуированием подвергались ремонту, цоколюются. Для этой цели латунные цоколи надеваются на соответствующие выводы и межстенное пространство заполняется тестом из гипса (содержание воды 34—40% вес.) После затвердевания гипсового уплотнения медные выводы от электродов припаиваются оловом к цоколям; в качестве флюса применяется смесь канифоли и глицерина (~45% глицерина). Испытание выпрямителя производится на той же установке.

Как показали наши опыты, вполне надежные результаты, в смысле проверки качества регенерированного выпрямителя, получаются, если через выпрямитель в течение 2 часов пропускать ток номинальной силы и в течение 10 минут его перегружать на 50%, при этом выпрямитель не должен гаснуть. Хорошо эвакуированный выпрямитель при зажигании вольтовой дуги должен давать в катодном пространстве зеленоватое или голубоватое свечение и при переливании ртути из катода в конденсационную камеру производить не мягкий, а характерный резкий, металлический звук.

Большую помощь при проверке герметичности стеклянных спаев и стенок и обнаружения мельчайших, часто невидимых глазом, каналов оказывает свечение газов в эвакуированных деталях под влиянием тока от небольшой катушки Румкорфа [3]. Один конец катушки присоединяется к одному из электродов выпрямителя, а другим водят вдоль обследуемой

поверхности, при этом обычное розоватое свечение в месте течи усиливается до характера искры. Однако, указанным способом невозможно обнаружить течь в местах молибденовых вводов электродов, а также близко расположенных к ним, так как разряд от катушки Румкорфа проходит не через стекло, а устремляется к металлическим вводам. В этих случаях вводы электродов предварительно эвакуированной и отпаянной колбы поочередно заполняются ртутью путем ее переливания из катодного пространства; в случае наличия течи через ртуть, время от времени, пробулькивают пузырьки воздуха.

Продолжительность создания устойчивого высокого вакуума является индивидуальным свойством каждого выпрямителя, если пользоваться одной и той же установкой для эвакуирования. При нормальной непрерывной работе обычно эта величина для выпрямителей от 2В—6 до ЗВН 100/500 лежит в пределах 6—24 часов. Обычно наибольшая продолжительность откачки наблюдается для тех выпрямителей, у которых стеклянные стенки имеют темный налет, отремонтированные электроды захватаны потными пальцами и слабо отожжены в пламени паяльной горелки, залитая ртуть плохо просушена. Во всех этих случаях выделение адсорбированных газов и паров происходит более медленно и общий срок эвакуирования повышается.

Практика работы регенерированных нами стеклянных ртутных выпрямителей на шахтах Кузбасса показала, что эти выпрямители обладают высокими качествами и по сроку своей службы, как правило, превышают новые выпрямители (3000—4000 часов вместо ~1000 часов).

В практических работах по регенерированию в различное время приняли участие: асс. П. И. Тумашев, асс. Г. К. Шавров, асс. Л. Л. Скрипова, студ. А. Т. Кулешова, асс. А. А. Семенов, препаратор А. Ф. Колесникова, стеклодувы И. В. Чижков и П. И. Воробьев.

### Заключение

Описанный способ позволяет быстро организовать регенерирование отработанных стеклянных ртутных выпрямителей на различных шахтах и других предприятиях, применяющих в широких масштабах выпрямленный ток, на базе имеющегося и доступного оборудования.

Регенерирование выпрямителей резко сократит потребность в новых выпрямителях и освободит железнодорожный транспорт от перевозки громоздкого и хрупкого груза.

### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Г. Белявский—Ртутные выпрямители переменного тока. ГЭИ. 1933.  
В. П. Вологдин—Выпрямители. ОНТИ. 1936.  
И. Л. Каганов—Электронные и ионные преобразователи тока. ОНТИ. 1937.  
И. И. Лившиц—Подземная электровозная откатка. ОНТИ. 1934.  
С. А. Волотковский—Подземная электровозная тяга. ГОНТИ. 1939.  
И. А. Просфирин, В. М. Ефимов, В. К. Стасюк—Подземная электровозная откатка. ГОНТИ. 1941.
2. А. Е. Арбузов—Руководство по самостоятельному изучению стеклодувного искусства. ОНТИ. 1935.
3. М. Я. Лапиров-Скобло—Высокий вакуум. ГНТИ. 1931.  
Л. Дюнаиэ.—Техника высокого вакуума. ГТТИ. 1933.  
С. В. Птицин.—Вакуумная техника. Типолитография Ленгидромеза. 1934.  
К. В. Чмутов.—Техника физико-химического исследования. ОНТИ. 1937.  
Н. А. Капцов.—Физические явления в вакууме и разреженных газах. ОНТИ. 1937.
4. Техническая энциклопедия. Том 5, стр. 612. 1930.
5. Сборник физических констант. ОНТИ, стр. 55. 1937.