

**УДК 504.062**

**ЧУДАКОВА М.А.**, аспирантка 1 года (НИУ МИЭТ)  
Научный руководитель **РЯБЫШЕНКОВ А.С.**, д.т.н., профессор (НИУ МИЭТ)  
г. Москва, г. Зеленоград

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ОТХОДОВ МИКРОЭЛЕКТРОННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Обращение с отходами является острой проблемой как для повседневной жизнедеятельности, так и для промышленности, в том числе микроэлектронной. В ходе деятельности предприятий микроэлектроники образуется большое количество отходов, содержащих различные токсичные и канцерогенные компоненты.

Кроме того, образуется значительное количество отходов, направляемых на захоронение, что также негативно сказывается на окружающей среде. Для минимизации образования отходов, а также снижения водопотребления и экономии электроэнергии следует применять наилучшие доступные технологии. В микроэлектронном производстве одним из основных источников отходов являются химические или электрохимические процессы. В отходах от этих процессов содержатся опасные для окружающей среды компоненты, которые необходимо обезвреживать, а также не допускать их проникновения в воду и почву.

Целью данной работы было идентифицировать характерные отходы микроэлектронного производства и определить возможные технологии для минимизации их образования и экономии ресурсов.

Для устойчивого развития предприятий микроэлектроники и формирования их эффективной экологической политики с упором на наилучшие доступные технологии (НДТ) необходимо оценить все аспекты негативного воздействия этих предприятий на природную среду, в том числе проанализировать отходы производства и потребления.

Для микроэлектронного производства характерны такие технологические процессы как подготовка подложек, металлизация, гальванические процессы (меднение, оловянирование, золочение и др.), фотолитография, сборка, монтаж и др. Также для функционирования предприятия необходимы различные хозяйственно-бытовые службы и помещения — например, складские помещения и стоянки сотрудников.

На рисунке 1 представлена схема источников образования отходов на предприятии микроэлектроники.

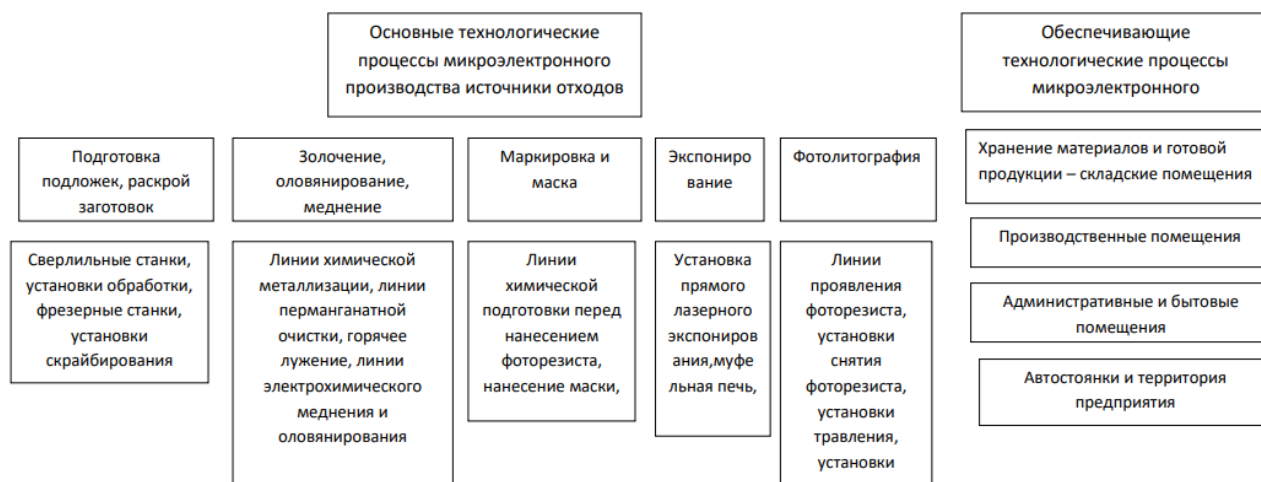


Рисунок 1. Основные технологические процессы и оборудование как источники образования отходов

Для производственных процессов характерно образование большого количества жидких отходов – стоков, которые невозможно сбросить в водные объекты и в централизованные системы водоотведения. Для исследуемого предприятия они таковы (коды согласно Федеральному классификатору отходов) [1]:

— растворы слабощелочные, отработанные при производстве печатных плат ФККО 37112222323;

— растворы перманганатные травления печатных плат отработанные ФККО 37112211103;

— осадок нейтрализации сточных вод производства печатных плат ФККО 37112112393;

— электролит оловянирования сульфатный отработанный ФККО 36349214103;

— осадки ванн гальванических производств в смеси с преимущественным содержанием меди ФККО 36348292393;

— электролит меднения сульфатный отработанный ФККО 36342141103.

Кроме того, образуются специфические для микрoeлектронного производства твердые отходы:

— обрезки фоторезиста при нанесении фоторезиста на заготовки печатных плат в их производстве ФККО 3 71 124 32 20 4;

— лом и отходы изделий из стеклотекстолита незагрязненные ФККО 4 34 231 21 20 4;

— тара полиэтиленовая, загрязненная лакокрасочными материалами (содержание менее 5%) ФККО 4 38 111 02 51 4;

— упаковка полиэтиленовая, загрязненная пастой паяльной, содержащей свинец и его соединения ФККО 4 38 119 53 51 4.

В ходе обеспечения производства образуются отходы от уборки производственных помещений, складов и т.д. Если отходы, рассмотренные выше, запрещены к захоронению и подлежат обезвреживанию и утилизации [2], то оставшиеся после уборки территории, помещений, автостоянок отходы захоранивают, однако в таком случае начисляется плата за негативное воздействие на окружающую среду.

Большинство отходов, образующихся на предприятии микроэлектроники, относятся к III и IV классам опасности и являются умеренно опасными и малоопасными отходами соответственно [3]. Тем не менее, для устойчивого развития отрасли микроэлектроники следует предотвращать попадание отходов в природную среду.

На рисунке 2 представлено соотношение количеств отходов, направленных за 2024 г. на захоронение, обработку, обезвреживание и утилизацию на рассматриваемом предприятии микроэлектроники.

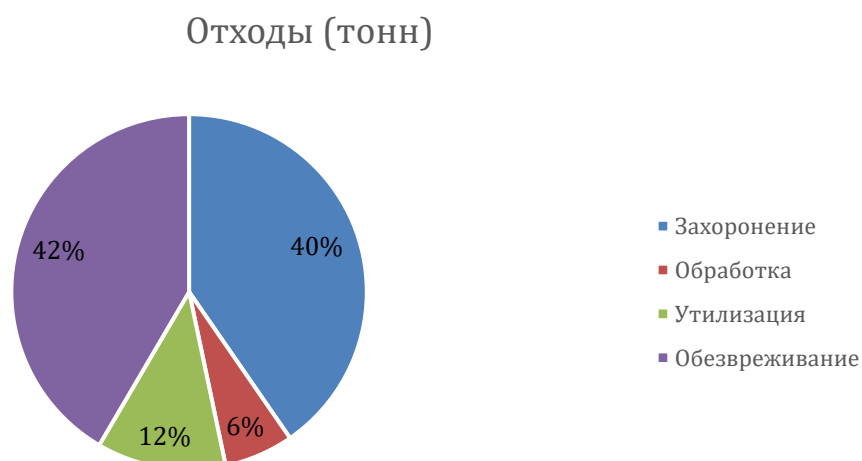


Рисунок 2. Количества отходов, направляемых на различные виды обращения

Из диаграммы видно, что большая часть отходов направляется на обезвреживание (42%), а также значительную долю отправляют на захоронение (40%). Рассмотрим состав некоторых отходов. К примеру, при обработке печатных плат образуется отход «растворы слабощелочные, отработанные при производстве печатных плат». Химический состав отхода представлен в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав отхода «растворы слабощелочные, отработанные при производстве печатных плат»

Наименование компонента	Содержание, %
Вода	62,124
Натрий	4,326
Калий	3,89
Взвешенные вещества	24,016
Свинец	2,362

Олово	2,091
Медь металлическая	0,931
Никель	0,251
Азот аммонийный	0,009

Токсичными элементами здесь являются свинец, медь, никель.

В свою очередь, при травлении печатных плат образуется отход «растворы перманганатные травления печатных плат отработанные»; химический состав отхода представлен в таблице 2.

Таблица 2. Химический состав отхода «растворы перманганатные травления печатных плат отработанные»

Наименование компонента	Содержание, %
Вода	83
Калий перманганат	6
Взвешенные вещества	5,5
Смола эпоксидная	4,5
Перексодисульфат натрия	1

Токсичным элементом в данном случае является калий перманганат.

Также при нейтрализации сточных вод производства печатных плат образуется осадок нейтрализации сточных вод производства печатных плат, химический состав которого перечислен в таблице 3.

Таблица 3. Химический состав отхода «осадок нейтрализации сточных вод производства печатных плат»

Наименование компонента	Содержание, %
Вода	61,97
Натрий	4,322
Калий	3,871
Взвешенные вещества	24,177
Свинец	2,367
Олово	2,075
Медь	0,964
Никель	0,253
Азот аммонийный	0,001

Токсичными элементами здесь являются свинец, медь и никель.

Перечисленные отходы связаны с использованием технологических растворов, и образуется их достаточно много. Для экономии электроэнергии и водопотребления, а также с целью снижения риска разгерметизации и разлива при транспортировке таких отходов (а это влечёт за собой риск отравления перечисленными токсичными элементами), следует по возможности

максимально возвращать их в производственный цикл и применять НДТ. Согласно источнику [4], необходимо продлевать срок эксплуатации растворов путём регенерации для удаления вредных примесей. Для регенерации предлагается использовать электролитический метод, т.к. для его реализации не требуется применение дополнительных химических веществ, а установка для электролиза может быть размещена в самой технологической ванне и способна обеспечивать или постоянную регенерацию, или регенерацию раствора с заданной периодичностью. Однако электролиз является энергозатратным процессом, поэтому следует тщательно подбирать мощность в зависимости от объёмов регенерируемых растворов.

Также следует снижать количество отходов, направленных на захоронение; это требуется как для уменьшения экологической нагрузки, так и для сокращения платы за негативное воздействие на окружающую среду [5].

Таким образом, можно заключить, что в ходе деятельности предприятий микроэлектроники образуются умеренно и малоопасные отходы. В основном это отходы, направляемые на обезвреживание и образующиеся при отработке растворов технологических ванн. Характерные отходы от предприятий микроэлектроники таковы: растворы слабощелочные, отработанные при производстве печатных плат, растворы перманганатные травления печатных плат отработанные, осадок нейтрализации сточных вод производства печатных плат, электролит оловянирования сульфатный отработанный, осадки ванн гальванических производств в смеси с преимущественным содержанием меди, электролит меднения сульфатный отработанный, обрезки фоторезиста при нанесении фоторезиста на заготовки печатных плат в их производстве. Отходы, направляемые на обезвреживание, составляют порядка 42% от всех отходов исследованного предприятия микроэлектроники.

Возможные применения НДТ для снижения образования отходов в первую очередь связаны с регенерацией растворов и удалением вредных примесей, благодаря чему растворы гораздо дольше находятся в производственном цикле. Регенерацию растворов проводят путём электролиза, что возможно реализовать без отрыва от производственного цикла. Также необходимо снижать образование количества отходов, направляемых на захоронение (на данный момент это 40% всех отходов).

#### Список литературы:

1. Федеральный классификационный каталог отходов [Электронный ресурс]. - URL: <https://rpn.gov.ru/fkko/> (Дата обращения: 31.03.2025).
2. РАСПОРЯЖЕНИЕ ПРАВИТЕЛЬСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ от 25 июля 2017 года N 1589-р Об утверждении перечня видов отходов производства и потребления, в состав которых входят полезные компоненты, захоронение которых запрещается [Электронный ресурс]. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/436754215> (Дата обращения: 31.03.2025).
3. Федеральный закон от 24.06.1998 N 89-ФЗ (ред. от 26.12.2024) "Об отходах производства и потребления" (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2025)

4. ИТС 36-2017 ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК ПО НАИЛУЧШИМ ДОСТУПНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТЕЙ МЕТАЛЛОВ И ПЛАСТМАСС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ ИЛИ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ Surface treatment of metals and plastics using electrolytic or chemical processes Дата введения 2018-07-01 [Электронный ресурс]. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/556173716> (Дата обращения: 31.03.2025).
5. Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 08.08.2024) "Об охране окружающей среды" (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2025).