

Число последовательно работающих адсорбционных фильтров рассчитывают по формуле:

$$N = H_{\phi} / H, \quad (13.41)$$

где H_{ϕ} — высота слоя адсорбента, необходимая для обеспечения заданной продолжительности фильтроцикла T_{ϕ} ; H — высота слоя загрузки одного фильтра, принимаемая конструктивно, м.

Количество вещества, задерживаемого адсорбционным фильтром M , кг, определяется по формуле:

$$M = a_m H_{\phi} F \varepsilon. \quad (13.42)$$

Потери напора в слое сорбента при крупности частиц 0,8-5 мм принимают не более 0,5 м на 1 м слоя загрузки.

13.5. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОЗОНИРОВАНИЕМ

Озонирование является универсальным методом, позволяющим эффективно очищать сточные воды от самых разных видов загрязнений.

При нормальных температурах и давлении озон представляет собой газ бледно-фиолетового цвета. Молекула озона включает три атома кислорода, которые структурно образуют равнобедренный треугольник с углом в вершине, равным $116^{\circ}49'$.

При разложении озона высвобождается значительное количество тепла, что может явиться причиной взрыва (нижний предел взрываемости озono-воздушной смеси в объемных единицах равен 5%).

По сравнению с другими окислителями, например хлором, озон имеет ряд преимуществ. Благодаря высокой окислительной способности, он применяется как для обеззараживания, так и для деструкции трудно-окисляемых органических загрязнений. Этот тип загрязнений представлен в сточных водах многочисленными классами красителей, поверхностно-активных веществ, пестицидов и др. Кроме этого озонирование эффективно для окисления многих неорганических соединений, таких как цианиды, фенолы и др. Дополнительным эффектом озонирования воды является ее обогащение растворенным кислородом.

Озон можно получать непосредственно на очистных установках, причем сырьем служит технический кислород или атмосферный воздух.

Перспективность применения озонирования как деструктивного метода обусловлена также тем, что оно не приводит к увеличению солевого состава очищаемых сточных вод, мало загрязняет воду продуктами реакции, а сам процесс легко поддается полной автоматизации.

В процессе обработки сточных вод озон, подаваемый в камеру реакции в виде озono-кислородной или озono-воздушной смеси, вступает в сложный многостадийный процесс физико-химических взаимодействий с водой и содержащимися в ней загрязнениями.

Первоначально взаимодействие озона с водной средой обусловлено процессами диффузионной и турбулентной массопередачи на границе раздела фаз "газ-жидкость", образованной всплывающими газовыми пузырьками. В результате этого одна часть молекул газа оказывается адсорбированной на внешней поверхности пузырьков, другая – растворенной в воде.

В дальнейшем действие озона сопровождается химическими взаимодействиями с загрязнениями, которые условно можно представить четырьмя основными типами: прямое окисление, окисление радикалами, озонлиз, озонокатализ.

Реакции прямого окисления веществ озоном описываются окислительно-восстановительными уравнениями, результатом которых с учетом полноты завершения процесса могут быть вещества с большей положительной валентностью или окислы веществ. Примером таких реакций может служить окисление минеральных веществ, содержащих Fe^{2+} или S^{2-} , которые после озонирования переходят соответственно в формы Fe^{3+} и $(\text{SO}_4)^{2-}$.

Окисление смеси органических веществ озоном в соответствии со скоростью реакций происходит в следующей последовательности: олефины → амины → фенолы → полициклические ароматические углеводороды → спирты → альдегиды → парафины.

Непрямое окисление осуществляется большим числом активных радикалов, например $\text{OH}^\cdot$, образующихся в результате саморазложения озона в воде. Скорость непрямого окисления прямо пропорциональна количеству разложившегося озона и обратно пропорциональна концентрации присутствующих в воде загрязнителей. Некоторые вещества подвергаются лишь прямому окислению, другие, как органические кислоты с малой молекулярной массой, — окислению радикалами. Окисление может осуществляться также совместным или последовательным воздействием прямого окисления и окисления радикалами.

Озонлиз представляет собой процесс закрепления озона на двойной или тройной углеводородной связи с последующим ее разрывом и образованием озонидов, которые так же, как озон, являются нестойкими соединениями и быстро разлагаются.

Каталитическое действие озона (озонокатализ) заключается в усилении им окисляющей способности кислорода, который присутствует в озонируемом воздухе.

Расход озона на разрушение загрязняющих сточные воды веществ зависит от многих факторов: pH водной среды, температуры, концентрации загрязнений, способа смешения и продолжительности контакта озона с воздушной смесью с водой.

Для интенсификации процессов озонирования применяют гомогенные и гетерогенные катализаторы, которые увеличивают скорости реакций окисления озоном. Существенная интенсификация очистки сточных вод достигается при совместном применении озона и ультразвука или озона и ультрафиолетового излучения.

Технологические схемы применения озона. Выбор технологической схемы озонирования зависит от многих факторов: состава и количества обрабатываемой сточной воды, дозы озона, скорости взаимодействия озона с окисляемыми примесями и др. Принимая во внимание высокую стоимость получения озона, его токсичность и пожароопасность, важным показателем эффективности работы установок озонирования воды является коэффициент использования озона. Поэтому при разработке технологии применения озона, наряду с его высокой реакционной способностью, следует учитывать и необходимость максимально полного использования непосредственно в контакте со сточной водой.

На рис. 13.8 показаны технологические схемы установок для очистки сточных вод озонированием. Одноступенчатая схема введения озono-воздушной смеси (рис. 13.8, а) применяется, когда примеси сточных вод достаточно быстро реагируют с озоном (например фенолы), но озон используется не полностью или в результате реакций с озоном образуются газообразные продукты, требующие отделения их от воздуха.

В процессах очистки воды от веществ, реагирующих с озоном медленно, для достижения требуемой глубины удаления загрязнений и повышения коэффициента использования озона рекомендуется применять двухступенчатые противоточные схемы (рис. 13.8, б). В результате первой ступени производится предварительное озонирование частично отработанной озono-воздушной смесью, с концентрацией озона до 5 мг/л. Во второй ступени происходит окончательное окисление примесей свежей озono-воздушной смесью.

Двухступенчатая схема с делением потока (рис. 13.8, в) предусматривает устройство двух реакторов. В первый реактор подается 80% общего количества сточных вод, а ос-

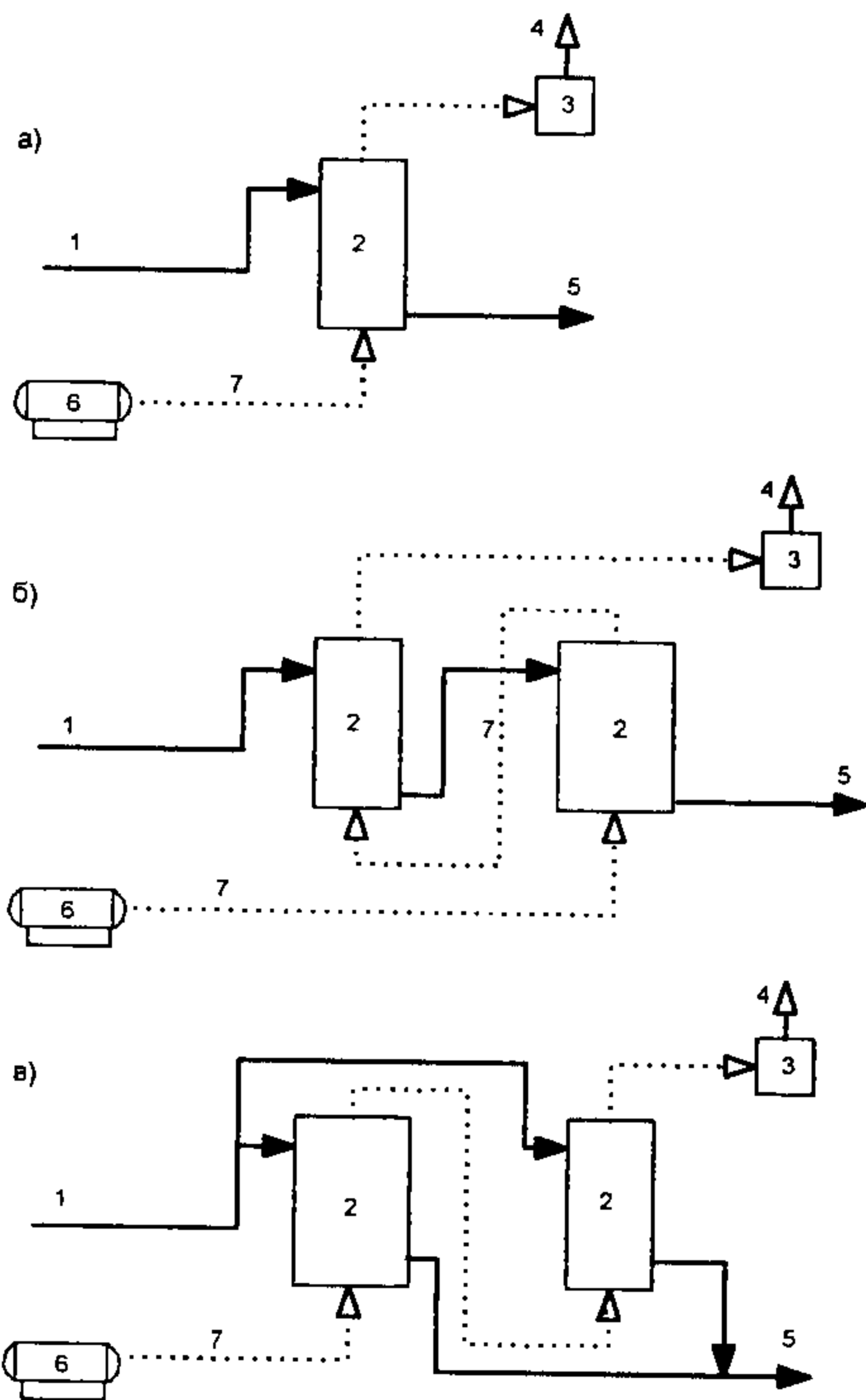


Рис. 13.8. Схемы установок озонирования воды:

а – одноступенчатая; б – двухступенчатая противоточная; в – двухступенчатая с делением потока; 1, 5 – подача сточных вод и отведение очищенной воды; 2 – контактная камера; 3 – нейтрализатор отходящих газов; 4 – выпуск газов в атмосферу; 6 – установка получения озона; 7 – подача озона

тальная часть – во второй. Озоно-воздушная смесь последовательно проходит через первый, а затем через второй реакторы. Двухступенчатые схемы позволяют практически полностью использовать подаваемый озон, а его концентрация в отходящих газах не превышает 0,01% по массе.

Оборудование для озонирования сточных вод. Принципиальная технологическая схема озонирования сточных вод состоит из двух основных блоков - получения озона и очистки сточных вод.

Блок получения озона (рис. 13.9) включает четыре ступени: забор и охлаждение воздуха; осушка воздуха; фильтрование воздуха; генерация озона.

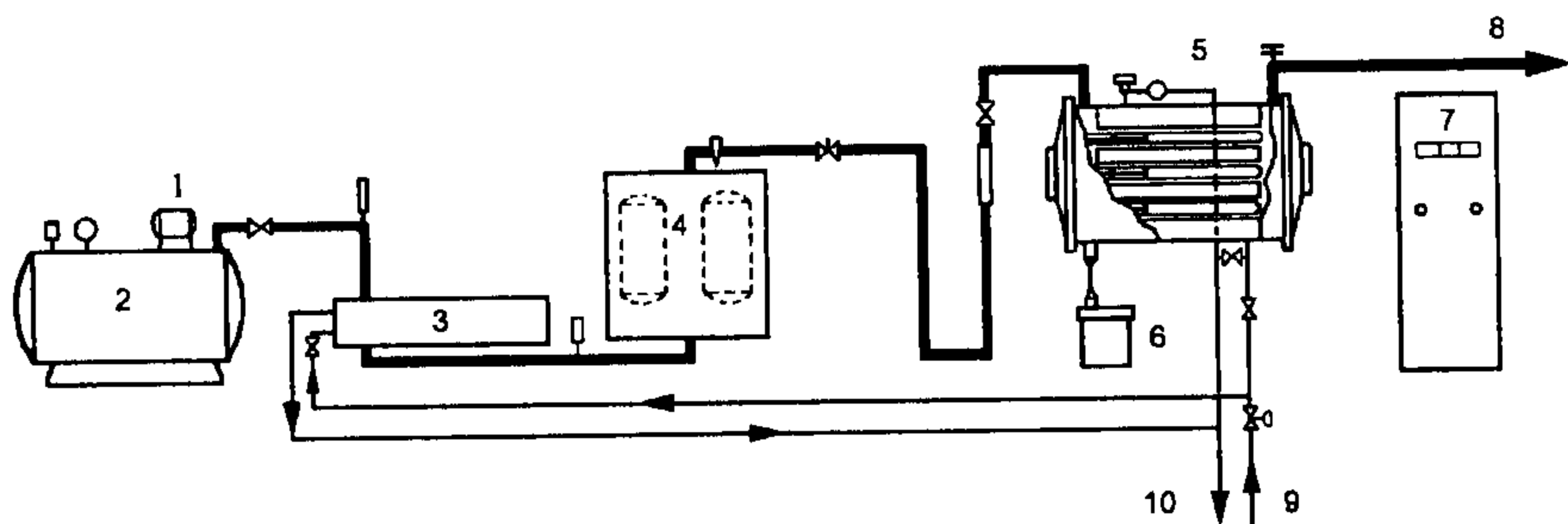


Рис. 13.9. Схема установки получения озона:

1 – компрессор; 2 – ресивер; 3 – охладитель воздуха; 4 – сушилка; 5 – генератор озона; 6 – трансформатор; 7 – электрический щит; 8 – подача озоно-воздушной смеси; 9, 10 – подача и отведение охлаждающей воды

Атмосферный воздух через воздухозаборную шахту подается на фильтр, где очищается от пыли, после чего воздуходувками подается на водоотделитель капельной влаги, а затем на автоматические установки для сушки воздуха, загруженные активным глиноземом.

Осушенный воздух поступает в автоматические блоки фильтров, в которых осуществляется тонкая очистка воздуха от пыли. Из фильтров осушенный и очищенный воздух подается в генераторы озона.

Озон может быть получен различными методами: с помощью химических реакций, в результате воздействия ионизирующего облучения, высокочастотного электрического поля или коронного (тихого) электрического разряда на атомы кислорода.

В промышленных условиях озон получают пропусканием потока воздуха или кислорода между двумя электродами, к которым приложена разность потенциалов 5-25 кВ. Чтобы избежать образования электрической дуги, один (а иногда оба) электрода покрывают слоем диэлектрика одинаковой толщины (диэлектрическим барьером), образующим эквипотенциальную поверхность. В такой разрядной системе образуется тлеющий коронный разряд. Этот способ получения озона является наиболее выгодным с энергетической точки зрения. Затраты электроэнергии на получение 1 кг озона из кислорода составляют 14-20 кВт·ч и из воздуха - 27-35 кВт·ч.