

**РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ОЗОНАТОРНЫХ УСТАНОВОК  
БОЛЬШОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ В МОДУЛЬНО-КОНТЕЙНЕРНОМ  
ИСПОЛНЕНИИ**

Особенности проектирования, изготовления и эксплуатации.

Области применения

Ю.М. Лужков<sup>1</sup>, Ю.С. Соломонов<sup>2</sup>, Н.В. Карягин<sup>2</sup>, В.М. Кулюкин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Правительство Москвы*

<sup>2</sup> *Федеральное Государственное унитарное предприятие «Московский институт  
теплотехники»*

*E-mail: mozon@rol.ru*

**Ключевые слова:** озон, озонаторная установка, модульно-контейнерное исполнение, технико-экономическое обоснование, система подготовки воздуха, плоские электроды, высокая частота тока, замкнутая система охлаждения, высокооборотные одноступенчатые компрессоры, температурно-влажностный режим.

**Аннотация**

В статье приводятся материалы по научной новизне, конструкции, эксплуатации, технической и экономической эффективности и перспективам применения озонаторной установки в модульно-контейнерном исполнении производительностью 25 кгО<sub>3</sub>/час (далее – ОУ-25) для систем централизованного водоснабжения.

Комплексные испытания ОУ-25, в том числе в процессе эксплуатации на Восточной водопроводной станции «Мосводоканала», подтвердили технические характеристики ОУ-25, не уступающие, а по ряду показателей превосходящие лучшие мировые образцы: по срокам строительства станций озонирования в  $\sim 10 \dots 12$  раз, по стоимости строительства в  $\sim 3$  раза, по скорости и глубине регулирования параметров в  $\sim 8$  раз, энергозатратам на производство 1 кг озона – на  $10 \dots 20\%$ , по стоимости оборудования, приведенной к 1 кг вырабатываемого озона – в  $1,7 \dots 1,8$  раз, по себестоимости озонирования воды – в  $\sim 1,3 \dots 1,5$  раза.

Работа выполнялась по заданию Правительства Москвы в период 2000 – 2003 г.г. Федеральным Государственным унитарным предприятием «Московский институт теплотехники», а также специально созданным для этих целей ЗАО «Московские озонаторы» в кооперации с ГУП «ВЭИ» (г. Москва), ВНИЦ «ВЭИ» (г. Истра М.О.), ОАО «Криогенмаш» (г. Балашиха М.О.), ОАО «НПО Автоматики» (г. Екатеринбург) и другими предприятиями, в т.ч. с участием предприятий оборонного комплекса, институтов РАН, НИИ и учебными заведениями Минвуза; заказчик – МПП «Мосводоканал».

**В области научных основ конструирования ОУ** показано, что возможности дальнейшего повышения эффективности ОУ-25 на традиционных технических решениях практически невозможно без использования принципиально новых научно – технических и проектно-конструктивных решений, современных технологий в области электротехники и машиностроения.

- Впервые в мире созданы пластинчатые профилированные электроды генератора озона полый тонкостенной конструкции с использованием высокоточной штамповки и сварки (рис. 1), двухсторонним диэлектрическим покрытием электродов и двусторонним охлаждением. При этом выход озона с единицы площади поверхности электрода увеличился до  $7 \dots 9$  г/час·дм<sup>2</sup>.

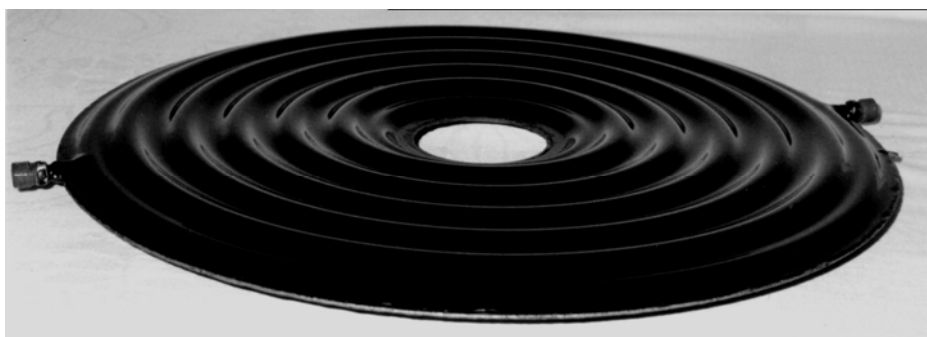


Рис. 1 Пластинчатый профилированный электрод

- Разработана физическая модель и уникальная промышленная технология и оборудование для электростатического напыления многослойной диэлектрической изоляции пластинчатых электродов (рис. 2).

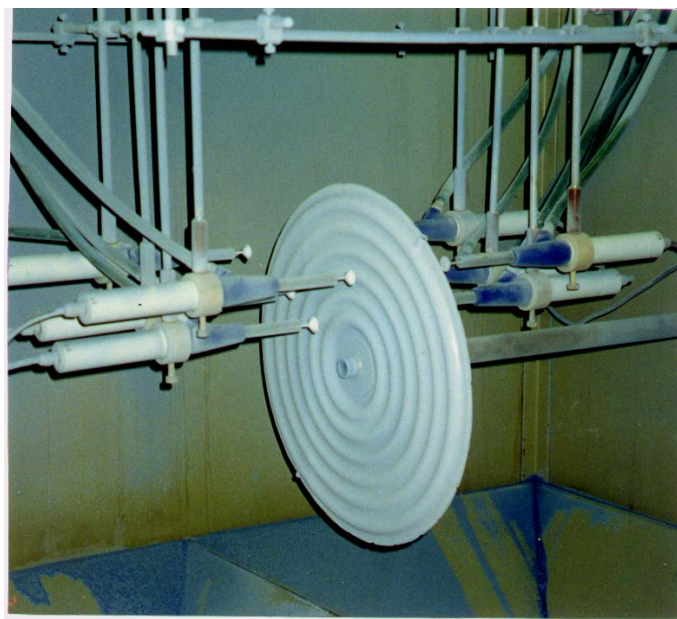


Рис. 2 Напыление диэлектрической изоляции на электрод

- Разработаны и освоены в серийном производстве малоразмерные одноступенчатые центробежные компрессоры (рис. 3) с ресурсом работы до 100 000 часов, номинальной частотой вращения ротора до 56 000 об/мин при расходе воздуха  $Q_v = 300 \dots 500 \text{ м}^3/\text{час.}$ , избыточном давлении  $P = 0,06 \dots 0,12 \text{ МПа}$  и удельном энергопотреблении  $0,036 \text{ кВт} \cdot \text{час}/\text{м}^3$ , что ниже на 18...20 % соответствующих показателей у лучших зарубежных аналогов.
- Созданы математические и физические модели, разработаны принципы построения и методика расчета высоковольтных (до 10кВ) высокочастотных (до 10 кГц) трансформаторов источников питания генератора озона (рис. 4).



Рис. 3 Модули центробежных компрессоров в контейнере



Рис. 4 Модули источника питания в контейнере

- Разработан и обоснован принцип отвода теплоты в процессе синтеза озона по замкнутому циклу без использования внешних хладагентов.

- Разработана и обоснована высокоэффективная энергосберегающая технология озонирования воды за счет реализации глубокой модульности ОУ.

### **В области технологии озонаторостроения.**

По озонаторной установке в целом впервые обоснована и реализована модульно-контейнерная схема размещения оборудования с параметрами модулей систем, равными  $\frac{1}{4}$  суммарной производительности, позволяющая снизить массогабаритные характеристики, сократить сроки строительства и пусконаладочных работ в 10...12 раз, стоимость строительства более чем в 3 раза, повысить надежность работы и упростить транспортировку систем ОУ, энергозатраты ОУ-25 на 1 кг вырабатываемого озона составляют 16-18 кВт×час/кгО<sub>3</sub>.

По генератору озона впервые разработаны и использованы нетрадиционные технологии и оборудование, в т.ч. для штамповки плоских электродов с высокой степенью эквидистантности сопряженных поверхностей с длиной разрядного промежутка  $5 \cdot 10^{-4}$  м, для напыления в электрическом поле порошковой стеклоэмалевой изоляции на электроды генератора озона. Разработан физико-химический состав порошковой стеклоэмали, обеспечивающий оптимальное соотношение диэлектрических свойств изоляции электродов.

По системе охлаждения впервые в промышленном озонаторостроении разработана и реализована замкнутая система охлаждения генератора озона, обеспечивающая постоянную температуру деионизованной воды 6<sup>0</sup>С на входе в генератор и ее независимость от температуры окружающей среды.

По источнику питания разработана технология изготовления высоковольтной высокочастотной твердотельной изоляции выходного трансформатора, что позволило увеличить частоту до 8000 Гц и улучшить массогабаритные показатели и надежность работы озонатора.

По воздушно-компрессорной станции разработан технологический процесс изготовления малоразмерных высокооборотных (до 56000 об/мин) одноступенчатых центробежных компрессоров с малыми энергозатратами и высокоэффективных теплообменников для системы подготовки воздуха ОУ.

По системе обеспечения температурно-влажностного режима впервые в озонаторостроении разработана и создана система поддержания температурно – влажностного режима в контейнерах ОУ с системами озона – пожаробезопасности и охранной сигнализации.

По системе управления и контроля разработана система управления и контроля (СУиК) ОУ, имеющая многопараметрические связи, построенная по распределенному модульному принципу с двумя уровнями управления: полуавтоматический (диалоговый) и автоматический.

Лазерная система экологической безопасности и мониторинга.

**Практическая значимость** проведенных исследований, разработок и реализации отечественной промышленной ОУ-25 состоит в решении важной народно-хозяйственной и социально-экологической задачи обеспечения населения чистой питьевой водой и заключается в освоении промышленного производства озонаторных установок, не уступающих, а по ряду основных характеристик превосходящих лучшие мировые образцы.

Тем самым открываются возможности широкого применения озонаторных технологий также и в отраслях, где применение озона эффективно, но сдерживается высокими ценами иностранного озонаторного оборудования, а именно:

- в централизованном водоснабжении, при этом потребности в озоне для систем озонирования питьевой воды составляют до 500 кг в час для Москвы и до ~ 1500 кг в час для всех других крупных городов России с населением свыше 1 млн. человек;
- для отбелки целлюлозы озоном на целлюлозно-бумажных комбинатах минимальная потребность в озоне в ближайшее время составляет 5000...6000 кг в час;
- для доведения промышленных стоков до рыбохозяйственных нормативов потребность в озоне только для Москвы составляет 1000...2500 кг в час;
- для гидрометаллургии потребные часовые расходы озона только для Удоканского медного месторождения составляют 2500...5000 кг в час;
- обработка зернопродуктов озоном от поражения зерна вредными насекомыми и клещами при хранении в несколько раз дешевле, экологически безопасней и производительней применения опасных ядов – синтетических инсектицидов.

Практическая значимость ОУ-25 многократно увеличивается возможностями ее модифицирования за счет модульно-контейнерного исполнения. Модульность позволяет экономить электроэнергию путем отключения определенного количества модулей агрегатов, позволяет обнаружить и заменить вышедшие из строя агрегаты без перерыва в работе ОУ-25, а также расширить диапазон максимальной производительности поставляемых заказчику озонаторных установок: ОУ-25; ОУ-18,75; ОУ-12,5; ОУ-6,25.

Контейнерная схема ОУ-25 может быть реализована для вновь создаваемых станций озонирования или для увеличения мощности существующих, как на ВВС. При этом не требуется возводить капитальные здания и сооружения для оборудования ОУ-25,

достаточно разместить ее в контейнерах на подготовленной площадке. Это предельный случай, а в имеющихся в наличии помещениях оборудование может быть установлено как в контейнерах, так и без них. Контейнеры – термоизолированные, шестиметровые, типа 1СС.

По сравнению с зарубежными аналогами:

- энергозатраты ОУ-25 на производство 1 кг озона составляют 16...18 кВт×час/кгО<sub>3</sub> (у аналогов – 20...25);
- энергозатраты системы подготовки воздуха на 1 м<sup>3</sup> производимого воздуха составляют 0,036 кВт×час/м<sup>3</sup> (у аналогов ~0,044);
- глубина регулирования производительности по озону и озono-воздушной смеси – до 8 раз (у аналогов – до 2);
- количество электродов - 240 (у аналогов - 850);
- выход озона с единицы поверхности электрода - 7...9 г/час дм<sup>2</sup> (у аналогов - 0,9);
- стоимость комплекта электродов на один генератор озона ~ \$50000 (у аналогов - до \$850000);
- стоимость оборудования озонаторной установки, приведенная к 1 кг вырабатываемого озона ~ 0,065 \$ млн./кг О<sub>3</sub> (у аналогов - 0,115);
- сроки строительства и пуско-наладочных работ - 0,25 лет (у аналогов - 3);
- стоимость строительства 0,033 млн. \$/кг О<sub>3</sub> (у аналогов - 0,1).

Новизна проведенных научных технических решений подтверждается патентами РФ на изобретения (21), золотыми (1) и серебряными (2) медалями на Всемирных выставках изобретений в Брюсселе в 2001 и 2003 г.г.

Целевой «Программой строительства озono-сорбционных блоков на водопроводных станциях МГУП «Мосводоканал» с использованием озонаторных установок ОУ-25», утвержденной Правительством Москвы, предусматривается использование ОУ-25 общим количеством 33 экземпляра до 2022 года включительно.

## Список использованной литературы

1. Лужков Ю.М., Соломонов Ю.С., Карягин Н.В., Кулюкин В.М., Пашин М.М., Смородин А.И., Алексеев В.Н., Бондалетов В.Н., Храменков С.В., Козлов В.Б. «Организация производства отечественных озонаторных установок нового поколения для систем централизованного водоснабжения», Труды VII симпозиума Электротехника-2010, Москва, 2003г., т.4, с. 157-162.
2. Соломонов Ю.С., Карягин Н.В., Кулюкин В.М., Смородин А.И., Гончаренко Б.И., Полотнюк О.Я., Павлова Е.С. «К вопросу создания комплексной лабораторно-испытательной базы для отработки озонаторных установок систем централизованного водоснабжения», Труды VII симпозиума Электротехника-2010, Москва, 2003г., т.4, с. 163-168.
3. Соломонов Ю.С., Карягин Н.В., Кулюкин В.М., Пашин М.М., Пуресев Н.И., Смородин А.И., Бондалетов В.Н., Давыдов Д.А., Друганов Ю.В., Козлов В.Б. «Разработка и испытания опытно-промышленного образца озонаторной установки в модульно-контейнерном исполнении для систем централизованного водоснабжения», Труды VII симпозиума Электротехника-2010, Москва, 2003г., т.4, с. 169-172.
4. Соломонов Ю.С., Карягин Н.В., Кулюкин В.М., Пашин М.М., Смородин А.И., Пуресев Н.И. «Отечественная озонаторная установка производительностью 25 кг озона в час. Особенности конструкции и эксплуатации, экономическая эффективность, перспективы применения», Материалы 27-го Всероссийского семинара «Озон и другие экологически чистые окислители. Наука и технологии», Москва, химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 4 июня 2004г.
5. Соломонов Ю.С., Карягин Н.В., Кулюкин В.М., Чельшев С.В., Гончаренко Б.И., Кубышкин Е.И. «Лабораторно-экспериментальная база. Перспективы и использование для отработки озонаторной технологии и озонных технологий», Материалы 27-го Всероссийского семинара «Озон и другие экологически чистые окислители. Наука и технологии», Москва, химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 4 июня 2004г.
6. Карягин Н.В., Кулюкин В.М., Афанасьев Ю.В., Гончаренко Б.И., Кокурин Л.А., Ксенофонтова М.М., Лукин В.В., Ткаченко С.М. «Программа модернизации систем диспергирования озono-воздушной смеси и методика сравнительных испытаний штатной и опытной линий озонирования воды на Восточной водопроводной станции Москвы. Материалы 27-го Всероссийского семинара «Озон и другие экологически чистые окислители. Наука и технологии», Москва, химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 4 июня 2004г.
7. Карягин Н.В., Афанасьев Ю.В., Друганов Ю.В., Смирнов В.А. «Результаты испытаний опытно-промышленного образца озонаторной установки производительностью 25 кг озона в

час», Материалы 27-го Всероссийского семинара «Озон и другие экологически чистые окислители. Наука и технологии», Москва, химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 4 июня 2004г.

8. Патент на изобретение № 2169122 от 21.12.2000г. «Установка для озонирования воды и способ озонирования воды», Лужков Ю.М., Соломонов Ю.С., Карягин Н.В., Кулюкин В.М., Храменков С.В., Никольский Б.В., Систер В.Г., Ганиев Р.Ф., Романовский В.Г., Подковыров В.П., Георгиевский В.П., Пилипенко П.Б. Золотая медаль на Всемирном салоне инноваций, исследований и новых технологий, «Брюссель — Эврика 2001».

9. Патент на изобретение № 2188800 от 29.11.2001г. «Контрольно-испытательная станция для отработки установок озонирования воды и способ проведения испытаний с ее использованием». Соломонов Ю.С., Карягин Н.В., Кулюкин В.М., Гончаренко Б.И., Пилипенко П.Б. Серебряная медаль на Всемирном салоне инноваций, исследований и новых технологий, «Брюссель - Эврика 2004».