

УДК 615.47:616-085

С.И. Дабахов*, Р.М. Завадских

ОАО «Завод Уралтехгаз», ул. Монтажников, 3, г. Екатеринбург, РФ, 620050

*e-mail: dsi@techgaz.ru

Г.Г. Костромитина, С.А. Наумов

ООО «Научная Корпорация «Биология Газ Сервис», ул. Большакова, 153-4, г. Екатеринбург, РФ, 620144

e-mail: scbgs@mail.ru

А.Г. Шиляев, Ю.И. Беляев

ООО ПКБ «Интехпром», ул. Июльская, 25, г. Екатеринбург, РФ, 620135

e-mail: intechprom2008@mail.ru

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КСЕНОНОВЫХ МЕДИЦИНСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

В России активно развиваются ксеноновые медицинские технологии. Для их широкого внедрения необходимо создание эффективного оборудования. Сообщается о разработке аппарата для ксеноновой терапии. Аппарат работает по экономичному закрытому контуру. Для развития ксеноносберегающих технологий создана установка для регенерации ксенона во второй стадии технологии рециклинга. Установка позволяет извлекать ксенон, собранный в блоки его улавливания или другие устройства. Сотрудничество учёных и промышленников Урала позволяет развивать и внедрять ксеноновые медицинские технологии в практику здравоохранения.

Ключевые слова: Ксенон. Кислород. Аппарат для ингаляций. Адсорбция. Десорбция. Конденсация. Вымораживание. Жидкий азот. Рециклинг.

S.I. Dabakhov, R.M. Zavadskikh, G.G. Kostromitina, S.A. Naumov, A.G. Shilyaev, Y.I. Belyaev

THE TECHNICAL SUPPORT OF XENON MEDICAL TECHNOLOGIES

In Russia, the xenon medical technologies are actively developing. For their wide application is necessary to create an efficient equipment. There are reported about development of the apparatus for xenon therapy. The apparatus works on economical closed loop system. For the development of xenon-saving technologies are created an installation for regeneration of xenon in the second stage of recycling technologies. An installation allows to extract xenon collected in blocks of it's capture, or other installations. The cooperation of scientists and industrialists of the Urals allows to develop and implement xenon medical technologies in health care practice.

Keywords: Xenon. Oxygen. Apparatus for inhalation. Adsorption. Desorption. Condensation. Freezing. Liquid nitrogen. Recycling.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время считается доказанной высокая эффективность применения ксенона в лечении широкого спектра заболеваний [1-6]. Ксенон обладает рядом уникальных свойств (аналгетик, гипнотик, противострессорный препарат, ноотроп, адаптоген, антидепрессант) и благоприятно воздействует на систему адаптации человека [3,7-9]. С учётом этих его свойств был разработан метод ксеноновой терапии (МКТ). Создана новая медицинская технология «Применение кислородно-ксеноновой смеси при боли и болевых синдромах» [10]. Для широкого внедрения метода в клиническую практику необходимо создание и развитие соответствующей технической базы. Прежде всего нужна разработка высокоэкономичной

и эффективной аппаратуры, реализация технологии рециклинга (сбор и восстановление отработанного ксенона), что позволит эффективно внедрять метод в широкую медицинскую практику. Все это требует тесного сотрудничества учёных, медиков, конструкторов и производителей.

2. АППАРАТ ДЛЯ КСЕНОНОВЫХ ИНГАЛЯЦИЙ

ООО «НК «Биология Газ Сервис» в рамках Государственного контракта № 6506р/9159 и при поддержке «Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» в 2009 г. создан стационарный аппарат для терапии ксеноном. В 2010 г. предприятие, являясь победителем конкурса «Старт 2-10-1», приступило к разработке новой мо-

дификации аппарата ксеноновой терапии для применения в стоматологии.

Сейчас для реализации метода ксеноновой терапии используется ряд аппаратов и устройств:

— контур терапевтический ксеноновый КТК-01 (производитель ООО «Акела-Н»);

— аппарат портативный для ингаляционного наркоза «КСИН»-Аврора» (производитель ОАО «Концерн «НПО «Аврора»).

Зарубежный аналог аппарата, зарегистрированный в России, — газосмесительный узел «Матрокс». Модель Frazer MDM с принадлежностями для закиси азота — кислородной седации частично решает задачи, которые может решать разрабатываемый аппарат.

В перечисленных устройствах не учитывается высокоэкономичный и эффективный способ ингаляции [11].

Наиболее экономичными могут быть устройства, работающие по закрытому или полузакрытому контурам.

С целью обоснования объёма потоков газов, необходимых для осуществления сеанса терапии ксеноном, были проведены исследования, где во время ингаляции по закрытому контуру производилась регистрация процентного содержания Хе и O_2 . Дыхательный контур заполнялся смесью этих газов в отношении (50%:50%). После этого проводилось измерение газового состава контура. Дискретность измерений — 30 с в течение 4-ёх минут.

В табл. 1 приводится изменение содержания в контуре O_2 и Хе в ходе ингаляции. Хорошо видно, что наибольшее потребление Хе организмом происходит в первую минуту. Также высоким оказывается потребление O_2 , которое не превышает физиологическую норму [12]. На второй и третьей минуте потребление газов значительно снижается. На четвёртой минуте происходит возрастание расхода O_2 организмом, что объясняется наступившим возбуждением.

Таблица 1. Расход Хе и O_2 по минутам в ходе ингаляции

Время процедуры	Расход Хе, мл	Расход O_2 , мл
1 минута	312	166
2 минуты	136	108
3 минуты	164	104
4 минуты	140	186

Примечание: Исходно контур был заполнен смесью Хе и O_2 в отношении (50%:50%). Количество газовой смеси в контуре — 2 л.

Из рис. 1 хорошо видно, что безопасное содержание O_2 в контуре (21 %) наступает к концу третьей минуты. При постоянном потоке Хе и O_2 в 250 мл появляется возможность проведения процедуры в течение трёх минут.

Рис. 2 показывает, как соотносятся расходы смеси Хе- O_2 и третьего газа в контуре в ходе ингаляции. Кривые характеризуют потребление Хе, O_2 и накопление в закрытом дыхательном контуре третьего газа, в основном, азота и диоксида углерода. Процесс

поглощения и выделения газов организмом пациента идёт примерно с одинаковой скоростью. К концу третьей минуты кривые пересекаются, а к четвёртой — содержание в закрытом дыхательном контуре третьего газа становится значительно выше, чем лечебных газов.

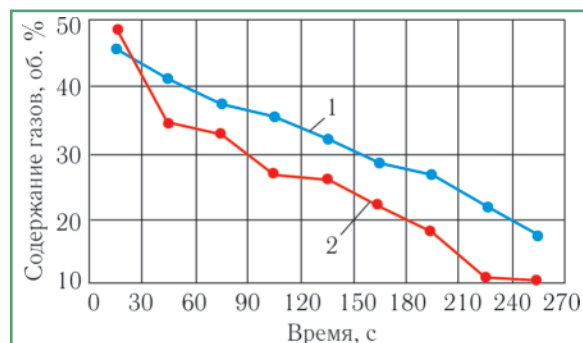


Рис. 1. Изменения содержания Хе (1) и O_2 (2) в объёмных процентах

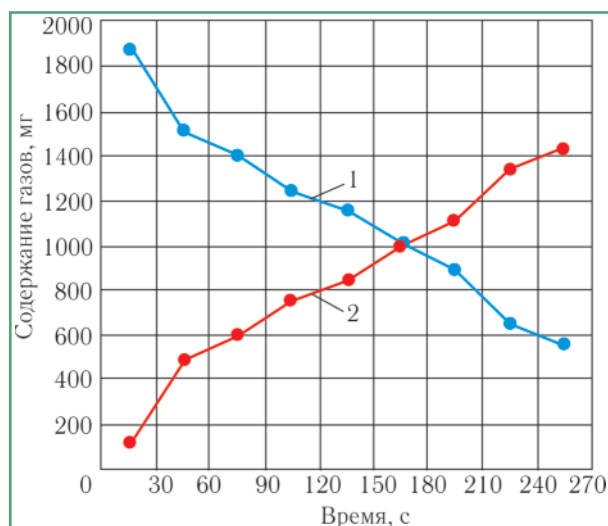


Рис. 2. Изменения содержания смеси Хе- O_2 (1) и третьего газа (2) в закрытом контуре

Как следует из рис. 2, прирост содержания третьего газа в контуре составляет около 500 мл в минуту. Поэтому для сохранения равных пропорций лечебных газов и продолжения процедуры необходимо после начала ингаляции устанавливать газовый поток на уровне 250 мл Хе и 250 мл O_2 .

Диоксид углерода, накапливающийся в дыхательном контуре, является параметром, ограничивающим длительность процедуры ксеноновой терапии. Поэтому была изучена динамика его накопления в ходе ингаляций по закрытому контуру. Первоначально аппарат был испытан на накопление CO_2 в дыхательном контуре при эксплуатации без колонки с натронной известью. Затем — с колонкой, которая была заполнена объёмом сорбента, составляющим 20 мл. Для измерения содержания CO_2 в дыхательном контуре аппарата использовался капнометр «Микон».

Табл. 2 показывает, что при испытании аппарата, не укомплектованного колонкой с сорбентом, в течение трёх минут в дыхательном контуре происходит на-

Таблица 2. Испытания сорбционных свойств колонки с натронной известью

Условия испытания	Содержание в газовой смеси CO ₂ , % об.		
	через 1 мин	через 2 мин	через 3 мин
Без колонки с сорбентом в контуре	0,7	1,8	2,7
С колонкой с сорбентом в контуре	0,2	0,5	0,7

копление CO₂ в концентрациях, не представляющих опасности для человека.

При испытании аппарата, укомплектованного колонкой с сорбентом, установлено, что содержание CO₂ в контуре к концу второй минуты соответствует концентрации в выдыхаемом воздухе и незначительно превышает эту величину к концу третьей минуты сеанса ксеноновой ингаляции.

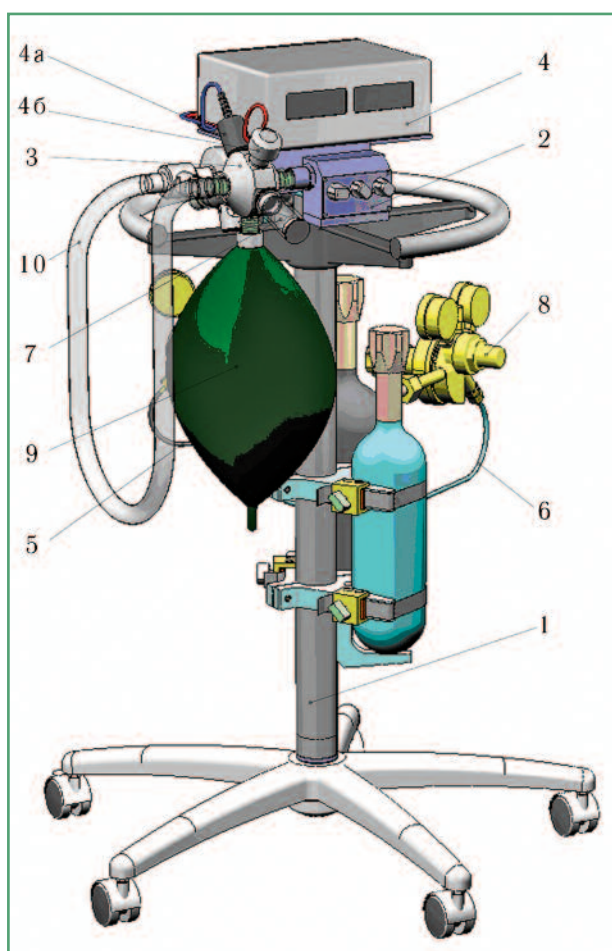


Рис. 3. Аппарат для ксеноновых ингаляций в сборе: 1 — несущая стойка; 2 — газораспределительный блок; 3 — основной газовый коллектор; 4, 4а, 4б — газоанализатор с датчиками; 5, 6 — гибкие трубопроводы, подающие ксенон и кислород; 7 — колонка для сорбента; 8 — регулятор давления; 9 — мешок резервный; 10 — разовый дыхательный контур (комплект)

Таким образом, из расчётов динамики потребления и выделения газов в ходе ингаляции при дыхании по закрытому контуру следует, что максимальное потребление Xe происходит в течение первой минуты. Порог безопасного содержания O₂ в дыхательной сме-

си наступает к концу третьей минуты. С целью обеспечения безопасности МКТ и возможности увеличения сроков ингаляции следует подавать газы в контур потоками по 250 мл и 100 мл в минуту. Поток газов в 500 мл предназначен для заполнения

контура перед сеансом ксеноновой терапии.

Проведённые исследования позволили разработать и создать аппарат для терапии ксеноном. На рис. 3 приводится внешний вид аппарата в сборе, предназначенного для применения в стационарных условиях. В его состав входят: несущая стойка 1, на которой крепятся баллоны с регуляторами давления 8; газоанализатор 4; газораспределительный блок 2, обеспечивающий малые потоки газов. Через основной газовый коллектор аппарат стыкуется с датчиками ксенона и кислорода газоанализатора, колонкой с сорбентом диоксида углерода, дыхательным контуром. Аппарат также предусматривает реализацию первой стадии системы регенерации ксенона (сбор отработанного ксенона в колонки с сорбентом).

Стоимость ксеноновой терапии зависит от применяемого устройства для ингаляции. При использовании стандартной НДА (с дыханием по полуоткрытому контуру) расход ксенона значительно выше, чем при выполнении ингаляций с применением закрытого контура. Расход ксенона может различаться на порядок. В табл. 3 приводятся данные о расходах ксенона при использовании различных аппаратов и способов ингаляции, освоенных в настоящее время в клиниках.

Таблица 3. Сравнение ксеноновых ингаляций при использовании аппаратуры, работающей по полуоткрытому или закрытому контуру

Используемый аппарат	Расход ксенона на процедуру, л	Расход ксенона на курс лечения (10 процедур), л
Аппаратура с полуоткрытым контуром	7-15	70-150
Аппаратура с закрытым контуром	1,5-2,5	15-25

Из табл. 3 видно, что значительный экономический эффект при проведении ксеноновых ингаляций будет достигаться при использовании аппаратуры, работающей по закрытому контуру.

Проведённые испытания подтвердили, что аппарат, созданный ООО «НК «Биология Газ Сервис», обладает высокими экономическими характеристиками, что позволяет шире внедрять метод ксеноновой терапии в клиническую практику.

3. РЕЦИКЛИНГ КСЕНОНА

Ксенон является дорогим и редким газом. Поэтому его широкое внедрение в медицинскую практику сдерживается в первую очередь экономическими ас-

пектами. Применение рециклинга даёт возможность снизить стоимость лечения.

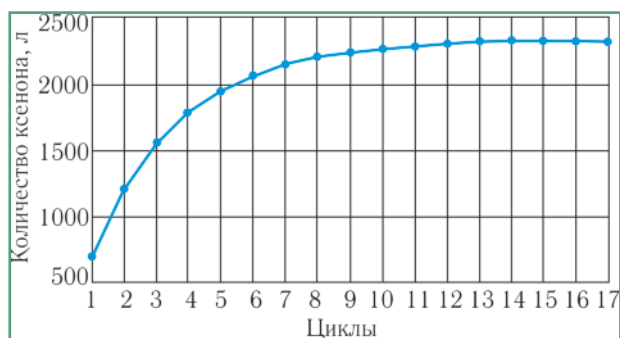


Рис. 4. Зависимость количества ксенона от числа циклов восстановления (регенерации и очистки)

На рис. 4 показано, что применение системы сбора и восстановления ксенона позволяет увеличить количество используемого в медицинской практике ксенона, что является экономически эффективным.

Для возвращения в цикл собранного в блоки улавливания ксенона нами была разработана установка для его регенерации. На рис. 5 изображена принципиальная схема данной установки. Работа установки основана на реализации процессов теплообмена, десорбции и адсорбции.

Рассмотрим, как организована работа установки. При разогреве блока улавливания ксенона БУК1 происходит выделение газовой смеси из сорбента (активированный уголь). Наиболее интенсивно этот процесс происходит при достижении сорбентом температуры в диапазоне 120...150 °С. При такой температуре давление газовой смеси в БУК1 увеличивается с атмосферного до 1 МПа.

При охлаждении приёмного баллона БК1 до температуры ниже -120 °С давление остаточных газов в нём понижается примерно до 0,03 МПа.

Такая разница в величинах давлений и температур в сообщающихся сосудах создаёт условия для перекачивания газовой смеси из десорбера Д1 в баллон БК1. При перекачивании газовой (газо-

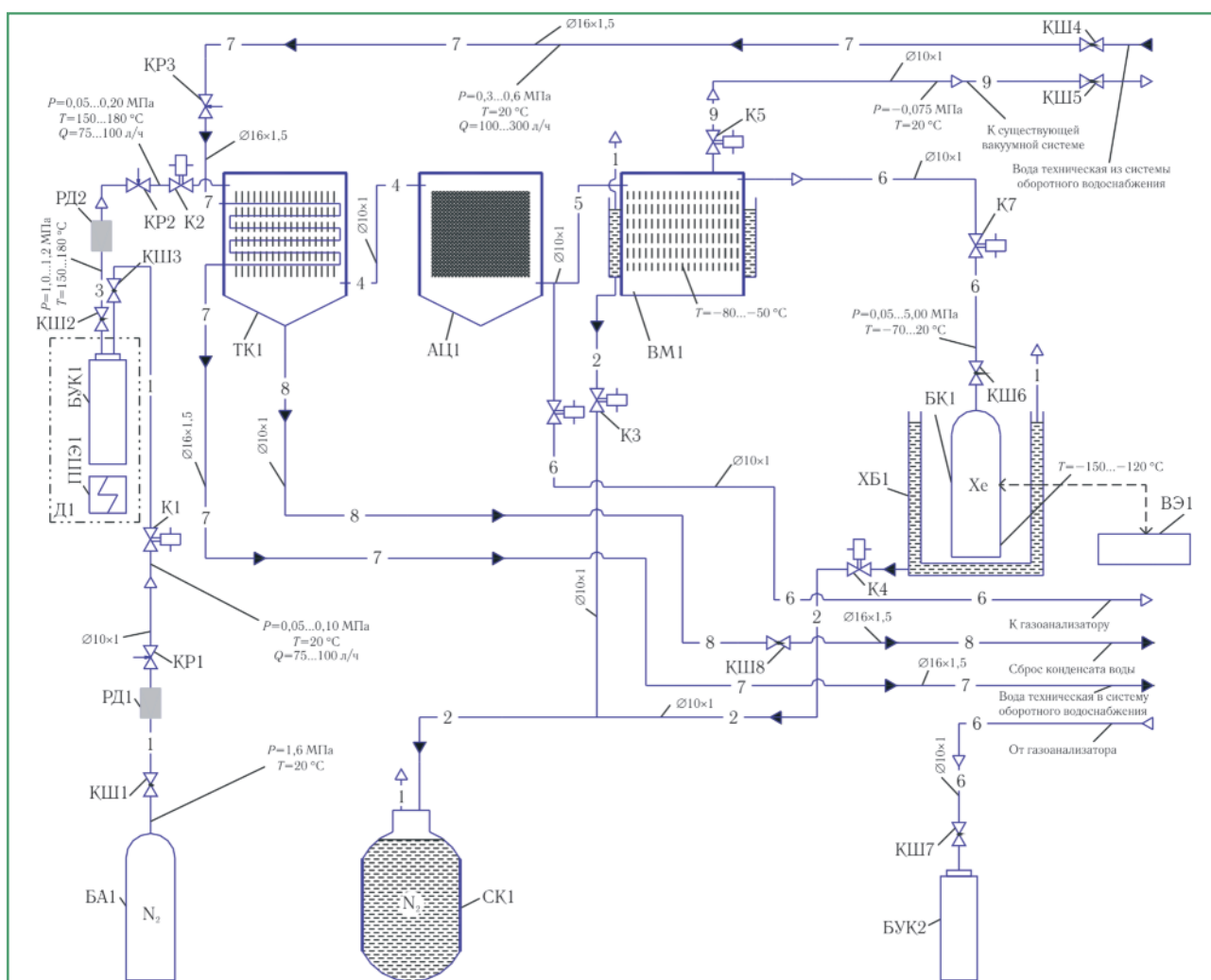


Рис. 5. Принципиальная технологическая схема установки регенерации ксенона со следующими трубопроводами: 1 — азот газообразный; 2 — азот жидкий; 3 — смесь воды и газов (ксенон, азот, кислород, диоксид углерода); 4 — смесь с пониженным содержанием воды и газов (ксенон, азот, кислород, диоксид углерода); 5 — смесь с пониженным содержанием воды и газов (ксенон, азот, кислород); 6 — газовая смесь ксенона, азота и кислорода; 7 — вода техническая; 8 — водяной конденсат; 9 — вакуумная линия

вой) смеси в баллон она по пути своего движения освобождается от паров воды и диоксида углерода, проходя при этом последовательно теплообменник-конденсатор ТК1, адсорбер Д1 и вымораживатель ВМ1. В теплообменнике-конденсаторе ТК1 происходит отделение основного объёма воды от газовой смеси. Натронная известь, применяемая в адсорбере Д1, поглощает остатки H_2O и CO_2 . В вымораживателе ВМ1 при температуре газа около -50 – -70 °С остатки диоксида углерода намерзают на насадке в виде инея. При поступлении оставшейся смеси газов в баллон БК1 (O_2 , N_2 и Хе) происходит конденсация и кристаллизация Хе. Процесс перекачки считается завершённым при выравнивании давления газов в системе, т.е. при давлении примерно 0,2–0,3 МПа. Несконденсированные газы O_2 и N_2 удаляются из газового тракта в атмосферу с помощью вакуумной системы. Удаление этих газов контролируется газоанализатором.

Процессу регенерации предшествует этап подготовки установки, который заключается в проверке исходного состояния запорно-регулирующей арматуры, подготовке необходимых реагентов для ведения технологического процесса и очистке газового тракта в результате его вакуумирования.

Управление процессом регенерации осуществляется в полуавтоматическом режиме. Для начала регенерации оператор с пульта переводит систему управления в режим регенерации. При этом включается подогреватель поверхностный электрический ППЭ1, размещённый в десорбере Д1; одновременно с ним открывается клапан К2. При достижении заданной рабочей температуры десорбции 150 °С горячие продукты десорбции за счёт разницы давлений на выходе БУК1 и БК1 поступают в теплообменник-конденсатор ТК1. Вода, присутствующая в газовой смеси, контактируя с развитой поверхностью насадки, охлаждаемой проточной водой, остывает до точки росы, конденсируется и скапливается на дне теплообменника-конденсатора.

Далее газовая смесь с остатками несконденсированной воды поступает в адсорбер А1, где происходит поглощение адсорбентом диоксида углерода и паров воды. Количество натронной извести, находящейся в сменном патроне А1, достаточно для регенерации примерно 20-ти блоков улавливания ксенона.

Десорбер Д1 работает под управлением контроллера, следящего за температурой внутри камеры. При достижении 150 °С контроллер отключает подачу электроэнергии на нагреватель. При падении температуры ниже 120 °С контроллер возобновляет её подачу на нагреватель.

В процессе отделения воды от газовой смеси в ТК1 и АЦ1 важное значение имеет соблюдение температурного режима. Поэтому система управления снабжена соответствующей индикацией. Оператор должен следить за значениями температур в аппаратах. Если температура превышает допустимую, следует повысить расход воды. Естественно, что температурный режим влияет на скорость регенерации. Ввиду этого опытным путём необходимо выбрать опти-

мальные значения расходов и температур.

После адсорбера А1 газовая смесь и не до конца отделённая вода поступают в вымораживатель ВМ1. На охлаждённой жидким азотом до температуры -50 ... -80 °С насадке аппарата и его внутренних стенках происходит вымораживание остатков воды и диоксида углерода. Оператор имеет возможность контролировать температуру газовой смеси на выходе из вымораживателя ВМ1 посредством цифрового индикатора.

При поступлении оставшихся газов (O_2 , N_2 и Хе) в баллон БК1 из них конденсируется и кристаллизуется Хе.

По ходу процесса состав газовой смеси постоянно контролируют с помощью газоанализатора Хе. Для этого оператор с пульта управления на период замера (примерно 30 с) открывает клапан К6. Анализируемая порция газовой смеси избыточным давлением вытесняется из ВМ1, проходит через газовый тракт анализатора и поглощается сорбентом БУК2. Результаты измерений, а так же время начала регенерации и продолжительность проведения газового анализа оператор заносит в журнал регистрации. Об окончании процесса конденсации ксенона свидетельствуют результаты анализа газовой смеси, в которой он практически отсутствует (концентрация очень мала). После такого результата оператор с пульта управления прекращает регенерацию, при этом закрываются клапаны К2, К7 и отключается подогреватель ППЭ1.

Для снижения потерь ксенона газовый тракт кратковременно продувается газообразным азотом через БУК1. После продувки газопроводов азотом выполняется вакуумирование аппаратов для удаления из них газообразных азота и кислорода. Затем установка приводится в исходное состояние для осуществления следующего цикла регенерации ксенона.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ксенон является дорогим и редким газом. Внедрение его в медицинскую практику сдерживается, в первую очередь, экономическими соображениями. Использование специализированной аппаратуры, в том числе созданной нами, а также применение системы рециклинга дадут возможность значительно снизить стоимость лечения. Это будет способствовать более широкому применению безопасных, экологически чистых и высокоэффективных методов ксеноновой терапии и анестезии в различных областях медицины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Роль ксенона при лечении опийных наркоманий/ С.А. Наумов, М.Н. Шписман, А.В. Наумов и др.// Вопросы наркологии. — 2002. — № 6. — С. 13–18.
2. Наумов С.А., Давыдова Н.С., Костромитина Г.Г. Метод ксеноновой терапии. Методические рекомендации. — Екатеринбург: УГМА, 2007. — 23 с.
3. Патент РФ № 2165270. Способ лечения наркоти-

ческих зависимостей. МКИ⁶ А61М16/01, А61М21/00, А61К31/00, А61К33/00.

4. **Наумов С.А., Хлусов И.А.** Адаптационные эффекты ксенона// Интенсивная терапия. — 2007. — № 1. — С. 10-16.

5. **Наумов С.А., Костромитина Г.Г., Потапов В.Н.** Метод ксеноновой терапии// «Ксенон и инертные газы в медицине». Материалы конференции анестезиологов-реаниматологов медицинских учреждений МО РФ (24 апреля 2008 г.). — Москва. — С. 62-69.

6. Патент РФ № 2228739. Препарат для адаптогенной терапии (варианты) и способ его изготовления. МКИ⁶ А61К9/107, А61К33/00, А61Р25/00.

7. Метод ксеноновой терапии в акушерстве/ **О.И. Якубович, А.А. Матковский, С.А. Наумов и др.**// Уральский медицинский журнал. — 2009. — № 10(64). — С. 70-73.

8. **Наумов С.А., Костромитина Г.Г.** Метод ксеноновой

терапии (механизмы действия, показания, противопоказания, оборудование)// «Ксенон и инертные газы в отечественной медицине». Материалы конференции анестезиологов-реаниматологов медицинских учреждений МО РФ (22 апреля 2010 г.). — Москва. — С. 156-163.

9. Влияние ксенона на клетки и рецепторы/ **И.А. Хлусов, С.А. Наумов, С.М. Вовк и др.**// Вестник РАМН. — 2003. — № 9. — С. 32-37.

10. Применение кислородно-ксеноновых смесей при боли и болевых синдромах// Новая медицинская технология. — № ФС 2010/123 от 02.04.2010.

11. Патент РФ № 2317112. Способ ингаляции и устройство для его осуществления. МКИ⁶ А61М16/00.

12. Начала физиологии/ **А.Д. Ноздрачев, Ю.И. Баженов, И.А. Баранникова и др.** — СПб.: Изд-во «Лань», 2002. — 1008 с.





IG,China'2010
12th China International Exhibition
on Gases Technology, Equipment
and Application

www.igchina-expo.com



NG,China 2010
2nd China International Exhibition on Natural Gas,
Gas Refueling Stations & Hydrogen Energy
Technology, Equipment and Application

www.lng-expo.com

Dates: November 10 - 12, 2010

Venue: Chengdu Century City New International Convention & Exposition Center, Hall 5

Organizer: AIT Events Co., Ltd.  亚太特
China Industrial Gases Industry Association

National Co-organizers:
Chinese Association of Refrigeration CNOOC Gas & Power Group
China City Gas Association Shanghai Jiao Tong University Development Center of LNG and Clean Energy
SYSU-BP Center for LNG Education, Training and Research in Zhong Shan University

International Co-organizers:
Korea High Pressure Gases Cooperative Union Korea Gas Safety Corporation
Ukrainian Association of Manufacturers of Industrial Gases
All India Industrial Gases Manufacturers' Association Hydrogen Energy System Society of Japan
Fuel Cell Development Information Center of Japan Gases and Welding Distributors Association

For bookings and further details, Please contact the Sale's Team
AIT Events Co., Ltd. 
Mr. Mark Liu, Mr. Kelven Leng
Tel: (86-10)8586 8930-207, 204
E-mail: ig.china@ait-events.com

Fax: (86-10)8586 8931
Website: www.igchina-expo.com www.lng-expo.com