

УДК 615.835.3

doi:10.20998/2413-4295.2016.25.06

НОВЫЙ МЕТОД ОЗОНИРОВАНИЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО РАСТВОРА И ЕГО ВНУТРИВЕННОЙ ИНФУЗИИ

Т. А. ГЛУХЕНЬКА¹, А. В. КИПЕНСКИЙ^{2*}, Е. И. КОРОЛЬ², Е. И. НАЗАРОВ¹

¹ Научно-производственное предприятие «Эконика», Одесса, УКРАИНА

² Кафедра промышленной и биомедицинской электроники НТУ «ХПИ», Харьков, УКРАИНА

*email: kavkpi@ukr.net

АННОТАЦИЯ В работе приведена информация о результатах модернизации автоматической озонной установки, проведенной с целью реализации метода корректной дозировки озона в процедурах внутривенной инфузии озонированного физиологического раствора. Кроме того были составлены и проанализированы различные варианты математических моделей процесса насыщения озоном физиологического раствора при отпуске процедур по предложенному методу. Показано, что приемлемые результаты моделирования могут быть получены при использовании упрощенной модели, когда емкость для хранения запаса озон-кислородной смеси рассматривается как звено запаздывания. Установлена взаимосвязь озонируемости физраствора с экономической составляющей эффективности процедуры.

Ключевые слова: озонотерапия, внутривенная инфузия, озонная установка, переносной модуль, математическая модель.

THE NEW OZONIZATION METHOD OF PHYSIOLOGICAL SOLUTION AND ITS INTRAVENOUS INFUSION

T. GLUKHENKA¹, A. KIPENSKYI^{2*}, I. KOROL², E. NAZAROV¹

¹ Industrial enterprise "Econika", Odessa, UKRAINE

² The industrial and biomedical electronics department, NTU "KhPI", Kharkov, UKRAINE,

*email: kavkpi@ukr.net

ABSTRACT The aim of the present work is to elaborate technical solutions which are necessary for the realization of the proper ozone dosage method at intravenous infusion procedures of ozonized physiological solution, and the analysis of the ozone saturation process of physiological solution at the procedures according to this method. This article represents the information about the results of the construction of the automated ozone setting modernization conducted with the aim of the new method realization. There is a description of the principle of its operating taking into account the improved mathematic software. The peculiarities of handheld module for the storage of the ozone-oxygen mixture supply which is also used for the stabilization of the ozone concentration in the ozonized physiological solution in the course of the procedure are stated. For the modeling of the ozone saturation process of the physiological solution according to the new method it was suggested two mathematic models. In the first case for the modeling of the ozonization process it was used the discrete model of the second order system on the basis of the recurrent expressions. In the second case the model of the process was simplified for account of the container of ozone-oxygen mixture storage was treated as a hysteresis element. Consequently the system of the second order was modified into the system with inertia link of the first order and the hysteresis element. The further analysis showed that with the usage of the simplified model, the obtained results are quite acceptable. Besides, it was stated the coherence between the ozonization of the physiological solution and the economical constituent of the procedure efficiency.

Keywords: ozone therapy, intravenous infusion, ozone setting, handheld module, mathematic software.

Введение

Озонотерапия основана на использовании природного вещества и в связи с этим относится к натуральным, немедикаментозным методам лечения [1]. Для озонотерапии характерны простота применения, высокая эффективность, хорошая переносимость, практическое отсутствие побочных действий [2]. В диапазоне терапевтических концентраций озон проявляет иммуномодулирующее, противовоспалительное, бактерицидное, верицидное, фунгицидное, анальгезирующее и другие действия. В лечебной практике озон используется в виде наружного, парентерального и энтерального воздействий, а методы озонотерапии при этом условно могут быть разделены на три группы [3].

К методам *наружного воздействия* принято относить:

- применение насыщенных озоном растворов антисептиков;
- аппликация озонированных масел и растительных масел;
- газация конечностей озон-кислородной смесью (ОКС) в проточной пластиковой камере.

К *парентеральным методам* воздействия (ОКС вводится с помощью иглы) относятся:

- большая и малая аутогемотерапия озонированной кровью [4];
- экстракорпоральная (воздействие вне тела) обработка ОКС плазмы и лимфы;
- подкожные инъекции ОКС, в том числе в биологически активные точки;

- паравертебральное (вдоль позвоночника) внутримышечное введение ОКС [5, 6];
- внутривенные инфузии озонированного физиологического раствора (ОФР).

При патологии желудочно-кишечного тракта находят применение *энтеральные методы* (воздействие через желудочно-кишечный тракт):

- прием озонированной дистиллированной воды;
- кишечные орошения озонированной дистиллированной водой;
- ректальные инфузии ОКС.

Важнейшим условием любого метода озонотерапии является обеспечение строгого дозирования вводимого озона. Если количество введенного озона превышает потенциал антиоксидантных ферментов, то это приводит к переизбытку активных форм кислорода и нарушению равновесия между перекисным окислением липидов и антиоксидантной системой [7]. В том случае, когда количество введенного озона оказывается ниже дозы, необходимой для конкретного пациента, терапевтический эффект может быть не достигнут.

Одним из наиболее популярных методов озонотерапии, который находит широкое применение для решения различных клинических задач, является внутривенная инфузия ОФР. Особенность этого метода состоит в том, что озон в водных растворах разлагается значительно быстрее чем в газовых смесях, что приводит к неизбежному снижению дозы, а, следовательно, и к снижению эффективности проводимой процедуры [8]. Для корректной дозировки озона в процедурах внутривенной инфузии ОФР авторами данной статьи был предложен оригинальный метод [9]. Суть этого метода состоит в следующем:

- на этапе подготовки физиологического раствора (ФР), его барботирование ОКС осуществляется до тех пор, пока концентрация озона (КО) в ОФР не достигнет заданного значения (при необходимости в процессе барботирования КО в ОКС на выходе озонатора автоматически увеличивают или уменьшают);

- в процессе проведения процедуры КО в ОФР поддерживается путем его барботирования ОКС (из специальной емкости) с заданным значением КО.

Цель работы

Цель данной работы состояла в разработке технических решений, необходимых для реализации метода корректной дозировки озона при проведении процедур внутривенной инфузии озонированного физиологического раствора, и анализе процесса насыщения озоном физиологического раствора при проведении процедур по новому методу.

Техническая реализация нового метода

Для технической реализации нового метода корректной дозировки озона была необходима модернизация автоматической озоновой установки (АОУ), усовершенствование ее программно-математического обеспечения и разработка переносного модуля для приготовления и инфузии ОФР.

Модернизация АОУ (рис. 1) состояла в том, что на выходе ее пневматического тракта был установлен дополнительный электромагнитный клапан ЭМК 2 и быстроразъемный фитинг 3 для подключения к переносному модулю (рис. 2). Базовые ЭМК 1 и фитинг 2 обеспечивают подачу ОКС для газовых озонотерапевтических процедур. Кроме того в корпусе установки был предусмотрен специальный отсек с датчиком КО в жидкости (ДКОЖ), который представляет собой оптопару открытого типа, работающую в ультрафиолетовой области спектра. При соединении переносного модуля с установкой в оптическом канале датчика размещается стеклянная кювета 15, куда поступает ОФР для измерения в нем КО.



Рис. 1 – Модернизированная автоматическая озоновая установка

Усовершенствование программно-математического обеспечения АОУ заключалось в том, что через 3 минуты после начала барботирования ФР ОКС с заданным значением КО, осуществлялось измерение КО в ОФР. По результатам измерения КО в ОФР корректировалось значение КО в ОКС на выходе установки. В процессе последующего барботирования ФР, концентрация озона в нем периодически измерялась до тех пор, пока она не достигала заданного значения. Процесс барботирования ФР на этом завершался.

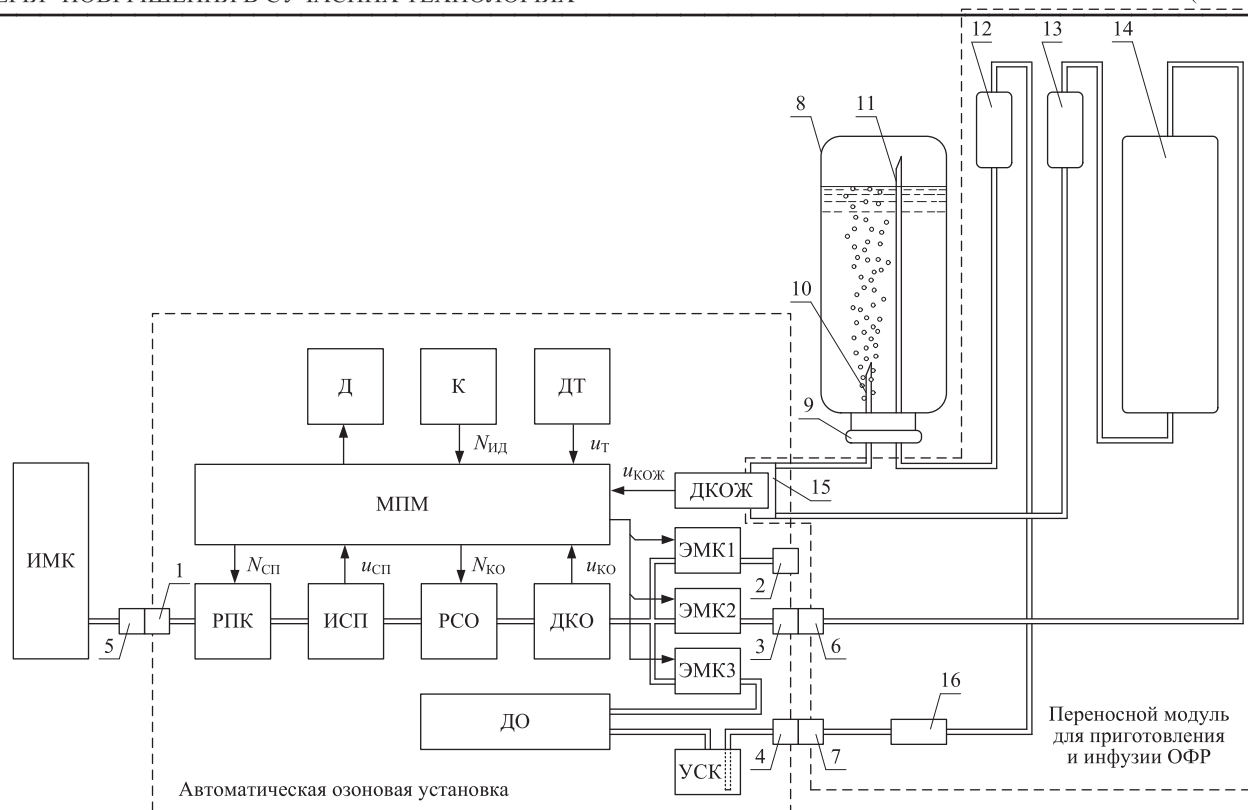


Рис. 2 – Схема модернизированной АОУ с присоединенным переносным модулем

Разработанный переносной модуль BOZON–MOF содержит емкость 14 (см. рис. 2 и 3) для хранения запаса ОКС, две буферные стеклянные емкости 12 и 13 (заполненные фторопластовой стружкой и предназначенные для исключения попадания влаги из флакона 8 с ФР в емкость 14 и в деструктор озона), кювету 15 и зажим 16. Для присоединения модуля к установке служат фитинги 6 и 7.

Приготовление ОФР с помощью модернизированной АОУ осуществляется следующим образом. Установка через фитинги 1 и 5 подсоединяется к источнику медицинского кислорода (ИМК). В переносной модуль устанавливается флакон 8 с ФР (см. рис. 2 и 3), через пробку 9 которого вводятся иглы 10 (с запаянным концом и мелкими боковыми отверстиями) для озонирования ФР и 11 для вывода из флакона отработанной ОКС. Модуль соединяется с установкой с помощью пар фитингов 3 и 6, и 4 и 7 (рис. 1, 2, 3 и 4). Кювета 15 при этом попадает в ДКОЖ.

После включения установки в сеть с переменным напряжением 220 В (на рис. 1 не показано), с помощью клавиатуры (К) и дисплея (Д) (рис. 2 и 4) осуществляется ввод исходных данных $N_{ид}$, необходимых для приготовления ОФР (в общем случае это КО в ОФР и объем флакона с ФР). Эти данные считываются микропроцессорным модулем (МПМ), где производится расчет параметров ОКС (КО в ОКС и скорость потока кислорода) с учетом температуры окружающей среды (а соответственно и ФР), которая измеряется датчиком температуры (ДТ) и в виде сигнала $u_т$ поступает в МПМ. Управляющее воздействие $N_{сп}$, соответствующее скорости потока, поступает от МПМ на регулятор потока кислорода (РПК). Стабильность скорости потока обеспечивается МПМ за счет контура обратной связи, содержащего измеритель скорости потока (ИСП), который формирует сигнал $u_{сп}$. Управляющее воздействие $N_{ко}$, соответствующее КО в ОКС, поступает на

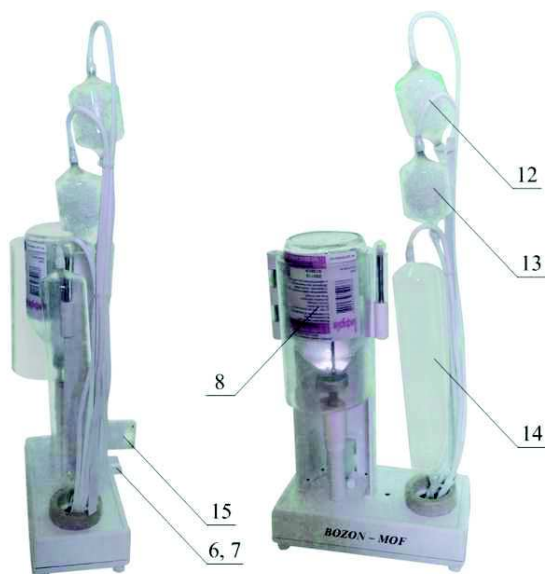


Рис. 3 – Переносной модуль (разные ракурсы) со снятым кожухом

реактор для синтеза озона (PCO). Здесь стабильность КО в ОКС обеспечивается МПМ за счет контура обратной связи, который содержит датчик концентрации озона (ДКО), формирующий на своем выходе сигнал $u_{КО}$.

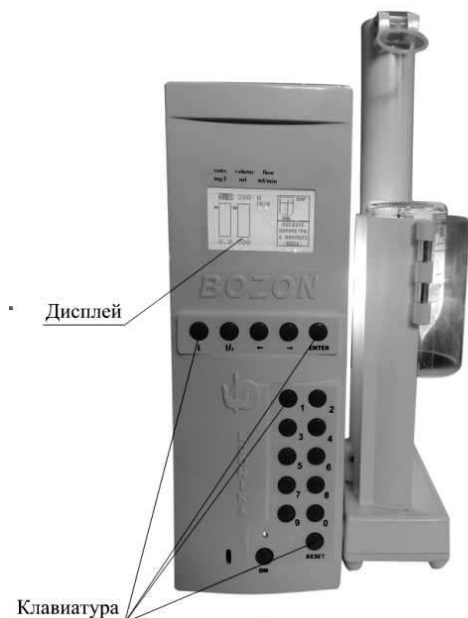


Рис. 4 – Модернизированная АОУ с присоединенным переносным модулем

Для насыщения озонем ФР открывается ЭМК 2 (см. рис. 2) и ОКС через соединенные фитинги 3 и 6, и внутренние магистрали переносного модуля начинает заполнять емкость 14. Поскольку плотность озона выше плотности воздуха он опускается на дно емкости, постепенно перемешиваясь с содержащимся в ней воздухом. Повышение давления в емкости 14 приводит к тому, что газовая смесь через магистрали, буферную емкость 13 и иглу 10 начинает барботировать ФР во флаконе 8. Отработавшая ОКС через иглу 11, магистрали, буферную емкость 12, зажим 16 (находится в открытом состоянии), фитинговое соединение 4 и 7 через устройство для сбора конденсата (УСК) поступает на деструктор озона (ДО) для утилизации.

Через 3 минуты после начала барботирования, ЭМК 2 перекрывает пневмотракт установки, а ЭМК 3 перенаправляет поток ОКС в ДО. Подача ОКС во флакон ФР прекращается и ОФР через иглу 10 заполняет кювету 15. С помощью датчика ДКОЖ производится измерение КО в ОФР. Информация с ДКОЖ, поступающая в виде сигнала $u_{КОЖ}$, анализируется МПМ и при необходимости осуществляется корректировка управляющего воздействия $N_{КО}$, соответствующего КО в ОКС [9]. Далее ЭМК 3 закрывается, ЭМК 2 открывается и насыщение озонем ФР продолжается. При этом операция измерения КО в ОФР периодически

повторяется до тех пор, пока КО не достигнет заданного значения. После этого ЭМК 2 и ЭМК 3 закрываются, а реактор для синтеза озона и регулятор потока кислорода автоматически выключаются. Приготовление ОФР завершено.

Для отпуска процедуры внутривенной инфузии ОФР, зажимом 16 перекрывается магистраль, и переносной модуль отсоединяется от АОУ. К флакону с ОФР присоединяется стерильная система для инфузий типа ПК-1 и пациенту производится внутривенное вливание озонированного ФР (рис. 5). Разряжение во флаконе по мере истекания ФР, компенсируется ОКС из емкости 14 через иглу 10.



Рис. 5 – Отпуск процедуры внутривенной инфузии ОФР с помощью переносного модуля

Экспериментальные исследования и медицинская апробация показали, что использование предлагаемого метода проведения процедур внутривенной инфузии ОФР, существенно повышает их эффективность за счет стабилизации КО в ОФР в течение всей процедуры, а стало быть, позволяет достаточно точно обеспечивать озоновую дозу, получаемую пациентом.

Моделирование процесса насыщения озонем физиологического раствора по новому методу

В процессе совершенствования метода корректной дозировки озона, авторами были составлены и проанализированы различные варианты математических моделей, которые бы позволили изучать процесс насыщения озонем ФР. При этом основная задача состояла в расчете мгновенных значений концентрации озона в ФР в функции продолжительности барботирования и определении длительности временного интервала, необходимого для насыщения озонем ФР до заданного значения КО.

Если пренебречь временными интервалами забора проб и измерения КО в ОФР, то в процессе

подготовки ФР можно выделить два основных этапа:

– барботирование ФР ОКС с КО, соответствующей медицинским методическим рекомендациям (с учетом температуры окружающей среды), до забора первой пробы для измерения КО в ОФР;

– барботирование ФР ОКС с КО, рассчитанной с учетом значения КО в ОФР (т.е. с учетом свойств озонируемости), измеренного в конце первого этапа.

В общем случае процесс насыщения озном ФР может быть проанализирован с помощью экспоненциальной модели, которая ранее была предложена авторами [10]. Однако в данном случае, на процесс насыщения озном ФР существенное влияние будет оказывать емкость 14 для хранения запаса ОКС (см. рис. 2 и 3) переносного модуля BOZON-MOF. При этом емкостью 13 и кюветой 15 можно пренебречь ввиду их малого объема. В математической модели емкость переносного модуля может быть представлена дополнительным инерционным звеном первого порядка. Таким образом процесс насыщения озном ФР будет представлять собой два последовательных инерционных звена первого порядка, т.е. инерционное звено второго порядка.

Для анализа процесса насыщения озном ФР была использована дискретная модель, на основе рекуррентного выражения, описывающего инерционное звено первого порядка,

$$C_i = C_{i-1} + (C_{MAX} - C_{i-1}) \cdot \frac{\Delta t}{\tau},$$

где C_i – i -й отсчет значения концентрации;

C_{MAX} – максимальное значение концентрации, при бесконечно продолжительном наблюдении;

Δt – шаг дискретной модели;

τ – постоянная времени инерционного звена.

Результаты моделирования представлены на рис. 6 при следующих условиях барботирования:

– начальное значение КО в ОКС на выходе озонатора – 15 мг/л;

– скорректированное (после забора пробы и соответствующих вычислений) значение КО в ОКС на выходе озонатора – 20 мг/л;

– скорость потока ОКС – 0,3 л/мин;

– объем емкости переносного модуля – 0,2 л.

На рис. 6 кривой 1 показано изменение КО в ОКС на выходе озонатора, кривой 2 – изменение КО в газовой смеси емкости переносного модуля, а кривой 3 – КО в физрастворе.

Дальнейшие исследования показали, что для получения зависимости $C_{OFR}(t)$ – концентрация озона в ОФР от продолжительности барботирования, необходимо от дискретной модели перейти к аналитическим выражениям. Однако такой переход осложняется достаточно громоздкими расчетами, которые в отдельных случаях не имеют вещественных решений.

Для решения поставленной задачи было введено допущение о том, что при заполнении емкости переносного модуля ОКС, она не смешивается с содержащимся там воздухом, а вытесняет его через физраствор. При этом система второго порядка, соответствующая процессу насыщения озном ФР, модифицируется в систему с инерционным звеном первого порядка и звеном запаздывания, наличие которого обусловлено некоторой продолжительностью заполнения емкости ОКС при заданной скорости потока. Такая система имеет аналитическое решение, а модель процесса озонирования физраствора может быть представлена линейными выражениями.

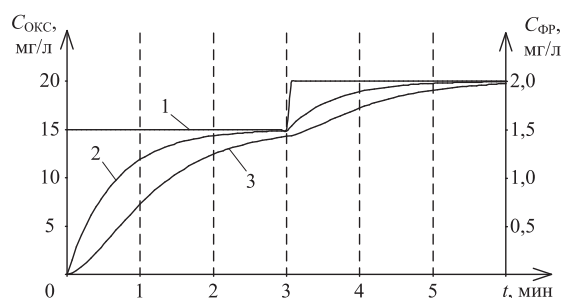


Рис. 6 – Изменения концентрации озона: на выходе озонатора (1), в емкости переносного модуля (2) и в физрастворе (3), рассчитанные с помощью дискретной модели

На рис. 7 приведены результаты моделирования процесса насыщения озном ФР (при прежних условиях барботирования), полученные с учетом введенного допущения (упрощенная модель).

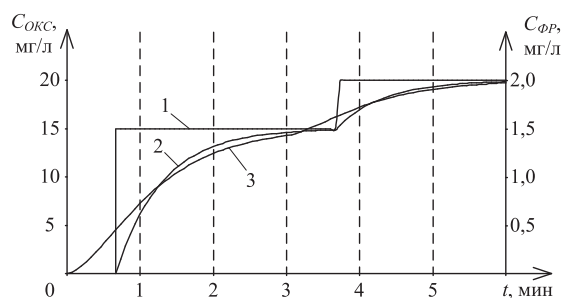


Рис. 7 – Изменения КО в емкости переносного модуля (1) и в физрастворе (2), рассчитанные с помощью упрощенной модели; изменения КО в физрастворе (3), рассчитанные с помощью дискретной модели

Кривой 1 на рис. 7 показано изменение КО в ОКС в емкости переносного модуля, кривой 2 – изменение КО в физрастворе. Для сопоставления результатов моделирования кривой 3 показано изменение КО в ФР, рассчитанное с помощью полной модели.

Из графика, представленного на рис. 7, видно, что мгновенные значения КО в ОФР в различные

моменты времени имеют существенные различия (кривые 2 и 3). Однако, в нашем случае, для анализа процесса насыщения озонем ФР значение имеют лишь следующие показатели:

- мгновенное значение КО в ФР по окончании первого этапа барботирования (в нашем случае это 3 мин);
- мгновенное значение КО в ФР по окончании второго этапа барботирования, когда концентрация озона достигла заданного значения (искомым в этом случае является момент окончания второго этапа);
- интегральные показатели КО, которые с учетом известной скорости потока, позволяют определить массу озона, израсходованную для приготвления ОФР.

Сопоставление результатов моделирования процесса насыщения озонем ФР, полученных с использованием упрощенной модели (рис. 7, кривая 2) и с использованием дискретной модели (рис. 7, кривая 3) позволили установить следующее:

- мгновенное значение КО в ОФР по окончании первого этапа барботирования (через 3 мин после начала) отличаются не более чем на 2,69 %;
- мгновенное значение КО в ОФР по окончании второго этапа барботирования (еще через 3 мин) отличаются не более чем на 0,63 %;
- интегральные показатели КО в ОФР по истечении 3 мин его барботирования отличаются менее чем на 1,1 %;
- интегральные показатели КО в ОФР по истечении 6 мин его барботирования отличаются менее чем на 0,52 %.

С учетом того, что погрешность измерения КО в ОФР выше, чем полученные отклонения, рекомендуется для моделирования процесса насыщения озонем ФР использовать упрощенную модель. Теперь процесс озонирования физраствора может быть представлен четырьмя временными интервалами (см. рис. 8):

- $t_0 - t_1$ – интервал T_1 – заполнение емкости переносного модуля ОКС с КО, соответствующей медицинским методическим рекомендациям;
- $t_1 - t_3$ – интервал T_2 – барботирование физраствора ОКС с КО, соответствующей методическим рекомендациям, длительностью;
- $t_3 - t_4$ – интервал T_3 – заполнение емкости переносного модуля ОКС со скорректированным значением КО, ($T_3 = T_1$);
- $t_4 - t_5$ – интервал T_4 – барботирование физиологического раствора ОКС со скорректированным значением КО.

На рис. 8, а показано изменение значения КО в ОКС на выходе озонатора, а на рис. 8, б – изменение значения КО в ОКС в емкости переносного модуля.

Кроме того, для получения аналитических выражений упрощенной модели введем ряд переменных (см. рис. 8, в):

- t_2 – смещение по оси времени кривой, соответствующей насыщению физраствора озонем

- путем его барботирования ОКС с КО равной $C_{ОКС2}$;
- t_3 – момент определения $C(t_3)$ – КО в ОФР для корректировки значения КО в ОКС;
- t_4 – момент перехода на озонирование физраствора ОКС с КО равной $C_{ОКС2}$;
- $T_5 = t_4 - t_2$ – интервал времени, соответствующий смещению по оси времени кривой насыщения физраствора озонем путем его барботирования ОКС с КО равной $C_{ОКС2}$, при котором кривая насыщения проходит через точку $C(t_4)$;
- $T_6 = t_5 - t_2$ – интервал времени, необходимый для достижения КО в ОФР заданного значения при его барботировании ОКС с КО равной $C_{ОКС2}$.

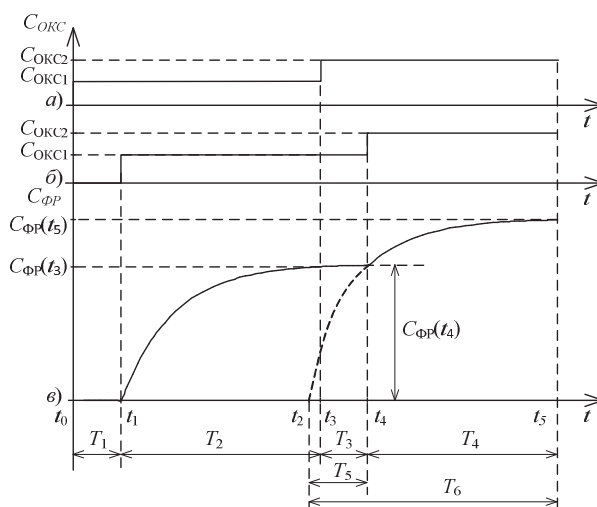


Рис. 8 – К определению параметров упрощенной модели процесса насыщения озонем ФР

Тогда, аналитическое выражение для расчета КО в ФР при его насыщении озонем по новому методу будет иметь вид:

$$C_{\text{НФР}}(t) = \begin{cases} 0, & \text{если } t < t_1; \\ C_{\text{ФР MAX}} [1 - \exp(- (t - t_1) / \tau_{\text{НФР } i})], & \text{если } t_1 \leq t < t_4; \\ C_{\text{ФР MAX}} / K_C [1 - \exp(- (t - t_2) / \tau_{\text{НФР } i})], & \text{если } t_4 < t, \end{cases}$$

где $C_{\text{ФР MAX}}$ – максимальное значение концентрации в конкретном образце ФР, которое может быть достигнуто при указанных условиях барботирования;

$\tau_{\text{НФР}}$ – постоянная времени насыщения озонем ФР;

K_C – коэффициент коррекции КО в ОКС, рассчитанный по результатам промежуточного замера в момент времени t_3 (3 минуты).

Расчет продолжительности приготовления ФР и массы озона, израсходованного на озонирование его различных образцов

Для анализа процесса озонирования ФР с

помощью упрощенной модели, были использованы результаты экспериментальных исследований [10]. Максимальное значение КО в ОФР $C_{ФР\text{ MAX}}$ и постоянная времени процесса озонирования $\tau_{н\text{ ФР}}$ для пяти различных образцов ФР сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Значения параметров процесса насыщения озонем физиологического раствора

Параметры модели процесса озонирования	Образцы физиологических растворов				
	ФР0	ФР1	ФР2	ФР3	ФР4
$C_{ФР\text{ MAX}}$, мг/л	2,155	1,775	1,574	1,645	1,160
$\tau_{н\text{ ФР}}$, мин	4,867	4,413	2,696	6,580	3,761
$C(t_3)$ мг/л	0,522	0,468	0,620	0,305	0,350
K_C	0,643	0,576	0,763	0,376	0,431
$C(t_4)$ мг/л	0,991	0,876	1,057	0,602	0,637
T_5 , мин	1,706	1,476	1,936	0,976	1,017
T_6 , мин	4,416	4,621	9,408	4,024	5,116
$T_{ФР}$	06:22	06:48	11:08	06:43	07:46
$M_{\text{ОЗОНА}}$, мг	37,10	43,226	61,448	57,844	63,188

При моделировании учитывались следующие параметры системы: расход ОКС $Q = 0,3$ л/мин, объём промежуточной емкости $V = 0,2$ л. При таких значениях продолжительность заполнения емкости переносного модуля определяется как

$$T_1 = V / Q,$$

и равна 0,66 минуты.

Используя параметры физиологических растворов определяем концентрацию $C(t_3)$ по выражению

$$C(t_3) = C_{ФР\text{ MAX}} \left[1 - \exp \left(-(t_3 - t_1) / \tau_{н\text{ ФР}} \right) \right].$$

По значению концентрации $C(t_3)$ в контрольной точке t_3 рассчитывается коэффициент (K_C) коррекции КО в ОКС для второго этапа насыщения озонем ФР, в соответствии с методикой [9]. Значение $C(t_3)$ и коэффициента K_C для каждого из образцов приведены в табл. 1.

Далее рассчитываем значение концентрации озона $C(t_4)$ в ФР, в момент времени t_4 , когда емкость будет полностью заполнена ОКС с КО равной $C_{\text{ОКС}2}$, по выражению:

$$C(t_4) = C_{ФР\text{ MAX}} \left[1 - \exp \left(-(t_4 - t_1) / \tau_{н\text{ ФР}} \right) \right].$$

Длительность интервала времени, соответствующего смещению кривой $C_{ФР}(t)$ насыщения на втором этапе, определяем как

$$T_5 = -\tau_{н\text{ ФР}} \cdot \ln \left(1 - \frac{C(t_4) \cdot K_C}{C_{н\text{ MAX}}} \right).$$

Длительность интервала, необходимого для достижения заданного значения КО в ОФР, при его барботировании ОКС с концентрацией $C_{\text{ОКС}2}$, будет равна

$$T_6 = -\tau_{н\text{ ФР}} \cdot \ln \left(1 - \frac{C(t_5) \cdot K_C}{C_{н\text{ MAX}}} \right).$$

Теперь продолжительность подготовки ОФР может быть определена по выражению:

$$T_{ФР} = t_5 - t_0 = T_1 + T_2 + T_3 - T_5 + T_6,$$

где $T_1 + T_2 = 3$ мин.

При этом, масса озона, израсходованного для приготовления ОФР, будет определяться выражением:

$$M_{\text{ОЗОНА}} = C_{\text{ОКС}1} \cdot Q \cdot \left[t_3 - t_0 + \frac{(t_5 - t_3)}{K_C} \right].$$

Значения параметров процесса озонирования пяти различных образцов ФР, рассчитанных по приведенным выше выражениям, сведены в табл. 1.

Анализ этих параметров показывает, что озонируемость различных образцов ФР оказывается не одинаковой и затраты (продолжительность барботирования и количество израсходованного озона) отличаются почти вдвое. Таким образом, экономическая составляющая эффективности процедур внутривенной инфузии ОФР, будет тем выше, чем выше будет озонируемость ФР.

Выводы

В результате проделанной работы могут быть сформулированы следующие выводы:

- модернизация автоматической озоневой установки позволила реализовать метод корректной дозировки озона при проведении процедур внутривенной инфузии озонированного физиологического раствора;

- экспериментальные исследования и медицинская апробация нового метода подтвердили его эффективность, которая была достигнута за счет стабилизации концентрации озона в озонированном физиологическом растворе в течение всей процедуры, что позволило достаточно точно обеспечивать озоновую дозу, получаемую пациентом;

- сравнительный анализ различных моделей процесса насыщения озонем физиологического раствора показал, что вполне приемлемые результаты могут быть получены при использовании упрощенной модели, которая представляет этот процесс в виде системы с инерционным звеном первого порядка и звеном запаздывания;

- свойство озонируемости физиологического раствора в существенной степени влияет на экономическую составляющую эффективности процедур внутривенной инфузии ОФР.

Список литературы

- 1 **Конторщикова, К. Н.** Биологические механизмы эффективности озонотерапии / **К. Н. Конторщикова, Ю. Р. Ефременко, И. Е. Окрут, А. В. Алясова** //

Казанский медицинский журнал. – 2007. – Т. LXXXVIII. Приложение к № 4. – С. 3-4.

- 2 **Viebahn, R.** The use of ozone in medicine. 5th English edition – Heidelberg: Karl F. Haug Publishers. – 2007. – 177 p.
- 3 **Масленников, О. В.** Практическая озонотерапия: Пособие / **О. В. Масленников, К. Н. Конторщикова** // *Н. Новгород: Изд-во «Вектор – ТуС»*. – 2003. – 52 с.
- 4 **Mawsouf, M. N.** Ozone Therapy in Patients with Viral Hepatitis “C”. Ten Years Experience / **Mawsouf, M. N., Tanbouli, T. T.** // *Proceedings of IOA Pan American Group Congress.* – 2010. – 32 p. – doi: 10.1080/01919512.2012.720161.
- 5 **Andreula, C. F.** et al. Minimally invasive oxygen-ozone therapy for lumbar disk herniation / **C. F. Andreula** et al. // *AJNR Am J Neuroradiol.* – 2003. – 24(5). – P. 996-1000.
- 6 **Corea, F.** A case of vertebrobasilar stroke during oxygen – ozone therapy / **F. Corea, S. Amici, N. Murgia, N. Tambasco** // *Journal of Stroke and Cerebrovascular Disease.* – 2004. – 13(6). – P. 259-261. – doi:10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2004.08.004.
- 7 **Масленников, О. В.** Озонотерапия: Внутренние болезни. / **О. В. Масленников, К. Н. Конторщикова** // *Н. Новгород: Изд-во «Вектор – ТуС»*. – 2003. – 132 с.
- 8 **Бояринов, Г. А.** Растворимость и распад озона в физиологическом растворе / **Г. А. Бояринов, А. С. Гордцов** // *Нижегородский медицинский журнал.* – 2000. – № 2. – С. 40-45.
- 9 **Кипенский, А. В.** Разработка метода корректной дозировки озона в процедурах внутривенной инфузии озонированного физиологического раствора / **А. В. Кипенский, Т. А. Глухенькая** // *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». – Х.: НТУ «ХПІ». – 2014. – № 36(1079). – С. 161-172.
- 10 **Глухенькая, Т. А.** Моделирование процессов озонирования физиологического раствора и разложения озона в нем / **Т. А. Глухенькая, А. В. Кипенский, Е. И. Король, Е. И. Назаров** // *Матеріали II Всеукраїнської науково-технічної конференції «Актуальні проблеми автоматики та приладобудування»*. – Харків: ТОВ «В справі». – 2015. – С. 29-30.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Kontorshhikova, K. N., Efremenko, Ju. R., Okrut, I. E. and Aljasova, A. V.** Biologicheskie mehanizmy jeffektivnosti ozonoterapii. *Kazanskiy medicinskiy zhurnal.* – 2007, LXXXVIII, 3-4. Prilozhenie to № 4.
- 2 **Viebahn, R.** The use of ozone in medicine. 5th English edition – Heidelberg: *Karl F. Haug Publishers*, 2007, 177 p.
- 3 **Maslennikov, O. V., Kontorshhikova, K. N.** Prakticheskaja ozonoterapija: Posobie. *N. Novgorod: Izd-vo “Vektor – TiS”*, 2003, 52 p.
- 4 **Mawsouf, M. N., Tanbouli, T. T.** Ozone Therapy in Patients with Viral Hepatitis “C”. Ten Years Experience. *Proceedings of IOA Pan American Group Congress*, 2010, 32 p., doi: 10.1080/01919512.2012.720161.
- 5 **Andreula, C. F. et al.** Minimally invasive oxygen-ozone therapy for lumbar disk herniation. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2003, 24(5), 996-1000.
- 6 **Corea, F., Amici, S., Murgia, N., Tambasco, N.** A case of vertebrobasilar stroke during oxygen – ozone therapy. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Disease.* 2004, 13(6), 259-261, doi:10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2004.08.004.
- 7 **Maslennikov, O. V., Kontorshhikova, K. N.** Ozonoterapija: Vnutrennie bolezni. *N. Novgorod: Izd-vo “Vektor – TiS”*, 2003, 132 p.
- 8 **Bojarinov, G. A., Gordecov, A. S.** Rastvorimost' i raspad ozona v fiziologicheskom rastvore. *Nizhegorodskij medicinskiy zhurnal.* 2000, 2, 40-45.
- 9 **Kipenskiy, A. V., Gluhen'kaja, T. A.** Razrabotka metoda korrektnoj dozirovki ozona v procedurah vnutrivvennoj infuzii ozonirovannogo fiziologicheskogo rastvora. *Visnik NTU “KhPI”*. Serija «Novi rishennja v suchasni tehnologijah». – Kharkiv: NTU “KhPI”, 2014, 36(1079), 161-172.
- 10 **Gluhen'kaja, T. A., Kipenskiy, A. V., Korol', E. I., Nazarov, E. I.** Modelirovanie processov ozonirovanija fiziologicheskogo rastvora i razlozhenija ozona v nem. *Materiali II Vseukraїns'koy naukovu-tehnichnoy konferenciyi “Aktual'ni problemi avtomatiki ta priladobuduvannja”*. Kharkiv: TOV “V spravi”, 2015, 29-30.

Сведения об авторах (About authors)

Глухенькая Татьяна Анатольевна – Научно-производственное предприятие «Эконика», инженер, ответственный за систему менеджмента качества; г. Одесса, Украина; e-mail: spe_econika@mail.ru.

Glukhenka Tetiana – Industrial enterprise “Econika”, engineer responsible for the management quality system; Odessa, Ukraine, e-mail: spe_econika@mail.ru.

Кипенский Андрей Владимирович – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры промышленной и биомедицинской электроники; г. Харьков, Украина; e-mail: kavkpi@ukr.net.

Kipenskiy Andrii – Doctor of Technical Arts, professor, National technical university “Kharkov polytechnic institute”, professor of the industrial and biomedical electronics department; Kharkov, Ukraine, e-mail: kavkpi@ukr.net.

Король Евгений Игоревич – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры промышленной и биомедицинской электроники; г. Харьков, Украина.

Korol Ievgen – Candidate of Technical Arts, National technical university “Kharkov polytechnic institute”, assistant professor of the industrial and biomedical electronics department; Kharkov, Ukraine.

Назаров Евгений Иванович – доктор технических наук, Научно-производственное предприятие «Эконика», директор; г. Одесса, Украина; e-mail: spe_econika@mail.ru.

Nazarov Eugeny – Doctor of Technical Arts, Industrial enterprise “Econika”, Director; Odessa, Ukraine, e-mail: spe_econika@mail.ru.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Глухенькая, Т. А. Новый метод озонирования физиологического раствора и его внутривенной инфузии / **Т. А. Глухенькая, А. В. Кипенский, Е. И. Король, Е. И. Назаров** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: «Новые решения в современных технологиях»*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 25 (1197). – С. 36-44. – doi:10.20998/2413-4295.2016.25.06.

Please cite this article as:

Glukhenka, T., Kipenskyi, A., Korol, I., Nazarov, E. The new ozonization method of physiological solution and its intravenous infusion. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: "New solutions in modern technologies"*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, 25 (1197), 36-44, doi:10.20998/2413-4295.2016.25.06.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Глухенька, Т. А. Новый метод озонирования физиологического раствора и его внутривенной инфузии / **Т. А. Глухенька, А. В. Кипенский, Е. И. Король, Е. И. Назаров** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: «Новые решения в современных технологиях»*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 25 (1197). – С. 36-44. – doi:10.20998/2413-4295.2016.25.06.

АНОТАЦІЯ У роботі наведена інформація про результати модернізації автоматизованої озонної установки, що була проведена з метою реалізації метода коректного дозування озону у процедурах внутривенної інфузії озонного фізіологічного розчину. Окрім того було складено і проаналізовано різноманітні варіанти математичних моделей процесу насичення озном фізіологічного розчину під час проведення процедур за запропонованим методом. Показано, що прийнятні результати моделювання можуть бути отримані при використанні спрощеної моделі, коли сміність для збереження запасу озono-кисневої суміші розглядається як ланка запізнення. Встановлено взаємозв'язок озонності фізрозчину з економічною складовою ефективності процедури.

Ключові слова: озонотерапія, внутривенна інфузія, озонна установка, переносний модуль, математична модель.

Поступила (received) 05.07.2016