

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕГЕНЕРАЦИИ ВОЗДУХА В ГЕРМЕТИЧНОМ ОБИТАЕМОМ ОБЪЕКТЕ

*Д. С. Дворецкий¹, Е. И. Акулинин¹,
С. Г. Толстых¹, М. Ю. Плотников², С. И. Дворецкий^{1*}*

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, Россия
*e-mail: sdvoretsky@tstu.ru

²Открытое акционерное общество «Корпорация «Росхимзащита», г. Тамбов, Россия

Поступила в редакцию 13.04.2017 г.

С использованием разработанной математической модели процесса регенерации воздуха в хемосорбционном реакторе, установленном в герметично обитаемом объекте, исследована динамика изменения концентрации диоксида углерода, кислорода и температуры в герметично обитаемом объекте в зависимости от времени и нагрузки на хемосорбционный реактор. Исследовано влияние объема герметичного обитаемого объекта и соотношения зон в нем на время защитного действия хемосорбционного реактора при одинаковой нагрузке.

Ключевые слова: процесс регенерации воздуха, герметично обитаемый объект, математическая модель, хемосорбционный реактор, время защитного действия.

ВВЕДЕНИЕ

Коллективные средства защиты органов дыхания (СЗОД) представляют собой замкнутые системы для очистки воздуха от вредных примесей в условиях, когда вентиляция помещения, в котором находятся люди, производится без забора внешнего воздуха (режим полной изоляции). Функционирование таких систем осуществляется с использованием средств химической регенерации воздуха, которые поглощают выделяемый в процессе жизнедеятельности человека углекислый газ и выделяют кислород.

Процесс регенерации воздуха в герметичном обитаемом объекте осуществляется с использованием хемосорбционного реактора, содержащего пластины регенеративного продукта (нанокристаллического KO_2 , осажденного на стекловолнистой матрице) в виде блока химической регенерации воздуха (БХРВ). Регенерация воздуха методом хемосорбции представляет собой нестационарный физико-химический процесс, включающий хемосорбцию надпероксидом калия (KO_2) диоксида углерода (CO_2), выделяемого при дыхании людей, и выделение кислорода (O_2) [1]. В ОАО «Корпорация «Росхимзащита» разработаны: технология получения регенеративного продукта различной геометрической формы (РПК-П ТУ 2123-232-05807954-2008) с максимально развитой поверхностью и регулируемым содержанием активного кислорода [2], а также конструкция хемосорбционного реактора,

предназначенная для создания и поддержания объемной доли кислорода в пределах 19÷23% и объемной доли диоксида углерода не более 1% (в течение времени защитного действия) в герметичных обитаемых объектах при температуре $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха $(85 \pm 10)\%$ [3].

При проектировании СЗОД необходимо иметь возможность изучить влияние количества людей, их дыхательной активности, массы хемосорбента, объема герметичного объекта на время защитного действия хемосорбционного реактора, а также динамику изменения концентраций кислорода и углекислого газа в герметичном объекте при периодической замене блока химической регенерации воздуха (БХРВ). Для решения указанной задачи был проведен комплекс экспериментальных (с использованием лабораторных и опытно-промышленных установок) и теоретических (с использованием метода математического моделирования) исследований.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Экспериментальные исследования динамики химической регенерации воздуха с использованием пластин хемосорбента проводили с использованием проточных реакторов для испытаний хемосорбента в форме пластин [4].

Экспериментальные исследования процесса химической регенерации воздуха в герметичном объекте с находящимися в нем потребителями кислорода и источниками углекислого газа проводили с помощью установки, описанной в [3].

Вычислительные эксперименты проводили с использованием математической модели процесса регенерации воздуха, описывающей: поглощение углекислого газа из газодыхательной смеси и выделение химически связанного кислорода хемосорбентом, размещенном в хемосорбционном реакторе; выделение углекислого газа и потребление кислорода воздуха людьми во время дыхания в герметично обитаемом объекте.

Изменение концентраций углекислого газа c_{CO_2} , влаги c_{H_2O} и кислорода c_{O_2} (моль/м³) в газодыхательной смеси по высоте пластин хемосорбента описывалось дифференциальными уравнениями вида:

$$w \cdot \frac{\partial c_{CO_2}(x,t)}{\partial x} - \frac{2\gamma}{d} \cdot W_2(a_{KOH}^{i(x)}(t), c_{CO_2}^{i(x)}(t), T_x^{i(x)}(t)) = \frac{\partial c_{CO_2}(x,t)}{\partial t}; \quad (1)$$

$$w \frac{\partial c_{O_2}(x,t)}{\partial x} + \frac{2\gamma}{d} \cdot W_1(a_{KO_2}^{i(x)} c_{H_2O}^{i(x)}, T_x^{i(x)}(t)) = \frac{\partial c_{O_2}(x,t)}{\partial t}; \quad (2)$$

$$w \frac{\partial c_{H_2O}(x,t)}{\partial x} - \frac{2\gamma}{d} \cdot (W_1(a_{KO_2}^{i(x)}(t), c_{H_2O}^{i(x)}(t), T_x^{i(x)}(t)) - W_2(a_{KOH}^{i(x)}(t), c_{CO_2}^{i(x)}(t), T_x^{i(x)}(t))) = \frac{\partial c_{H_2O}(x,t)}{\partial t}, \quad (3)$$

где W_1, W_2 – скорости химических реакций выделения кислорода и поглощения диоксида углерода, соответственно, моль/(м³·с); a_{KO_2}, a_{KOH} – концентрации в хемосорбенте KO_2, KOH , соответственно, моль/м³; T_x – температура

хемосорбента, K ; w – скорость газодыхательной смеси, м/с; b , l , γ – ширина, высота и толщина рабочего слоя, м.

Изменение концентраций $a_{KO_2}^{i(x)}$, $a_{KOH}^{i(x)}$ в i -м элементарном слое $i(x)$ хемосорбента описывалось уравнениями химической кинетики:

$$\frac{da_{KO_2}^{i(x)}}{dt} = -W_1 = -k_1(T_x^{i(x)}) a_{KO_2}^{i(x)} c_{H_2O}^{i(x)} ; \quad (4)$$

$$\frac{da_{KOH}^{i(x)}}{dt} = W_1 - W_2 = k_1(T_x^{i(x)}) a_{KO_2}^{i(x)} c_{H_2O}^{i(x)} - k_2(T_x^{i(x)}) c_{CO_2}^{i(x)} a_{KOH}^{i(x)} , \quad (5)$$

где $k_1 = k_{01} \exp(-E_1 / RT_x)$, $k_2 = k_{02} \exp(-E_2 / RT_x)$ – кинетические коэффициенты, м³/(моль·с); k_{01} , k_{02} – предэкспоненциальные множители, м³/(моль·с); E_1 , E_2 – энергии активации химических реакций, Дж/моль; R – универсальная газовая постоянная; Дж/(моль·К).

Изменение температуры газодыхательной смеси T_g и хемосорбента T_x по его высоте описывалось дифференциальными уравнениями:

$$c_p^g \cdot \rho_g \cdot w \cdot \frac{\partial T_g(x,t)}{\partial x} - \frac{2\alpha}{d} \cdot [T_g^{i(x)}(x,t) - T_x^{i(x)}(t)] = c_p^g \cdot \rho_g \cdot \frac{\partial T_g(x,t)}{\partial t} , \quad (6)$$

$$\begin{aligned} & - \frac{\alpha}{\gamma} [T_x^{i(x)}(t) - T_g^{i(x)}(x,t)] + (h_1 W_1 (a_{KO_2}^{i(x)}(t), c_{H_2O}^{i(x)}(t)) + h_2 W_2 (c_{CO_2}^{i(x)}(t), a_{KOH}^{i(x)}(t))) = \\ & = c_{px} \cdot \rho_x \frac{\partial T_x}{\partial t}(x,t), \end{aligned} \quad (7)$$

где c_p^g , c_p^x – теплоемкости газовой фазы и хемосорбента, соответственно, Дж/(кг·К); ρ_g , ρ_x – плотности газовой фазы и хемосорбента, соответственно, кг/м³; α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); h_1 , h_2 – тепловые эффекты реакций, Дж/моль.

При моделировании герметичный обитаемый объект был разделен на три зоны: I – зона выхода газодыхательной смеси из реактора; II – зона жизнедеятельности людей, укрываемых в объекте; III – зона входа газодыхательной смеси в реактор. Гидродинамический режим движения газодыхательной смеси в герметичном объеме соответствовал 3-х ячеечной модели смешения.

Изменение концентраций \bar{c}_{CO_2} , \bar{c}_{O_2} , \bar{c}_{H_2O} и температуры T_{ob} в герметичном обитаемом объекте описывалось системой дифференциальных уравнений (8)-(11):

$$\begin{aligned} w^{(1)} \frac{d\bar{c}_{CO_2}^{(1)}(t)}{dt} &= c_{CO_2}^{vih}(t) - \bar{c}_{CO_2}^{(1)}(t), V_{ob}^{(2)} \frac{d\bar{c}_{CO_2}^{(2)}(t)}{dt} = G_s (\bar{c}_{CO_2}^{(1)}(t) - \bar{c}_{CO_2}^{(2)}(t)) + n \cdot g_{ind}^{CO_2}, \\ w^{(3)} \frac{d\bar{c}_{CO_2}^{(3)}(t)}{dt} &= \bar{c}_{CO_2}^{(2)}(t) - c_{CO_2}^{vh}(t); \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} w^{(1)} \frac{d\bar{c}_{O_2}^{(1)}(t)}{dt} &= c_{O_2}^{vih}(t) - c_{O_2}^{(1)}(t), V_{ob}^{(2)} \frac{d\bar{c}_{O_2}^{(2)}(t)}{dt} = G_s (\bar{c}_{O_2}^{(1)}(t) - \bar{c}_{O_2}^{(2)}(t)) - n \cdot g_{ind}^{O_2}, \\ w^{(3)} \frac{d\bar{c}_{O_2}^{(3)}(t)}{dt} &= \bar{c}_{O_2}^{(2)}(t) - c_{O_2}^{vh}(t), \end{aligned} \quad (9)$$

$$w^{(1)} \frac{d\bar{c}_{H_2O}(t)}{dt} = c_{H_2O}^{vih}(t) - c_{H_2O}^{(1)}(t), \quad w^{(2)} \frac{d\bar{c}_{H_2O}^{(2)}(t)}{dt} = \bar{c}_{H_2O}^{(1)}(t) - \bar{c}_{H_2O}^{(2)}(t),$$

$$w^{(3)} \frac{dc_{H_2O}^{vh}(t)}{dt} = \bar{c}_{H_2O}^{(2)}(t) - c_{H_2O}^{vh}(t), \quad (10)$$

$$w^{(1)} \frac{\partial T_{ob}^{(1)}(t)}{\partial t} = T_g^{vih} - T_{ob}^{(1)}, \quad c_p^g \cdot \rho_g \cdot V_{ob}^{(2)} \frac{\partial T_{ob}^{(2)}(t)}{\partial t} = c_p^g \cdot \rho_g G_s (T_{ob}^{(1)} - T_{ob}^{(2)}) + Q_\Sigma,$$

$$w^{(3)} \frac{\partial T_g^{vh}(t)}{\partial t} = T_{ob}^{(2)} - T_g^{vh}, \quad (11)$$

где $g_{ind}^{o_2}, g_{ind}^{co_2}$ – дыхательная нагрузка, создаваемая человеком по кислороду и углекислому газу, соответственно, моль/с; n – количество людей в зоне герметичного обитаемого объекта; V – объем соответствующей зоны, м³; G_s – объемный расход газовой смеси, создаваемый вентилятором хемосорбционного реактора, м³/с; Q_Σ – суммарные тепловыделения в герметичном обитаемом объекте, Вт; верхние индексы (1), (2), (3) соответствуют зонам I, II, III герметичного обитаемого объекта, индексы vh и vih – входу и выходу хемосорбционного реактора.

Разработанная математическая модель тепло- и массообменных процессов [5-6], дополненная соответствующими начальными и граничными условиями [7, 8], представляла собой замкнутую систему дифференциальных уравнений для решения которой использовался метод конечных разностей и неявная разностная схема [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

С использованием проточных реакторов для испытаний хемосорбента в форме пластин при исходных данных, представленных в табл. 1, были получены кривые кинетики поглощения углекислого газа и выделения кислорода (рис. 1) при различных скоростях газовой смеси w в проточном реакторе. Далее по полученным экспериментальным данным были восстановлены кинетические коэффициенты химических реакций, которые составили соответственно: $k_1 = 1,71 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/(\text{моль} \cdot \text{с})$; $k_2 = 3,76 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/(\text{моль} \cdot \text{с})$. Полученные коэффициенты были использованы при моделировании процесса химической регенерации воздуха в герметичном обитаемом объекте.

Таблица 1. Исходные данные при испытании пластин хемосорбента в проточном реакторе

Параметр	Значение
H , м	0,065
B , м	0,038
$T_g(t=0)$, К	293
$c_{co_2}(t=0)$, % об.	0,4
$c_{o_2}(t=0)$, % об.	20,8

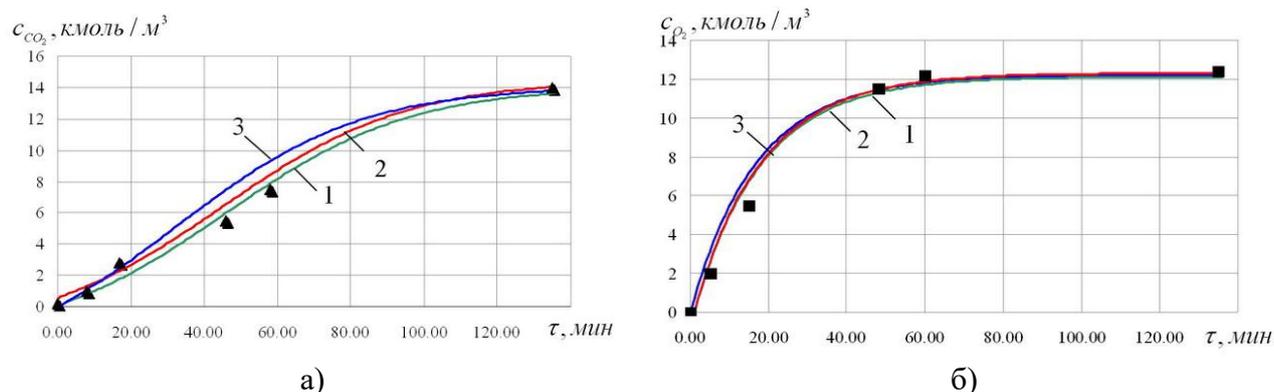


Рис. 1. Кинетика а) поглощения углекислого газа; б) выделения кислорода, на выходе в проточном реакторе. 1 – $w = 0,074$ м/с, 2 – $w = 0,103$ м/с, 3 – $w = 0,133$ м/с.

Адекватность кинетических уравнений математической модели для герметичного обитаемого объекта проверялась сопоставлением средних значений концентраций надпероксида калия \bar{a}_{KO_2} (кружки) и диоксида углерода \bar{a}_{KOH} (треугольники) в хемосорбенте и расчетных (сплошные линии) кинетических кривых химических реакций в хемосорбционном реакторе (табл. 2, рис. 2-4).

Таблица 2. Исходные данные для расчета процесса регенерации воздуха в герметичном обитаемом объекте

Параметр	Значение
Характеристики хемосорбционного реактора	
Толщина пластины хемосорбента γ , м	0,004
Высота пластины хемосорбента l , м	0,220
Ширина пластины хемосорбента b , м;	0,140
Количество пластин в реакторе: по ширине:	4
по высоте:	4
по глубине:	4
Характеристики герметичного обитаемого объекта	
Концентрация в помещении в начальный момент времени:	
углекислого газа $c_{CO_2}(0)$, % об.	0,4
кислорода $c_{O_2}(0)$, % об.	20,8
Температура воздуха в начальный момент времени $T_g(0)$, К	296,15
Соотношение объемов зон: $V_{ob}^{(I)} : V_{ob}^{(II)} : V_{ob}^{(III)}$	4:16:4
Количество людей в герметичном обитаемом объекте, n	4
Суммарная мощность источников тепла Q_{Σ} , Вт	43

Из анализа графиков на рис. 3 следует, что время защитного действия хемосорбента по диоксиду углерода (1% об.) составляет ~ 435 мин и по кислороду (19% об.) ~ 485 мин.

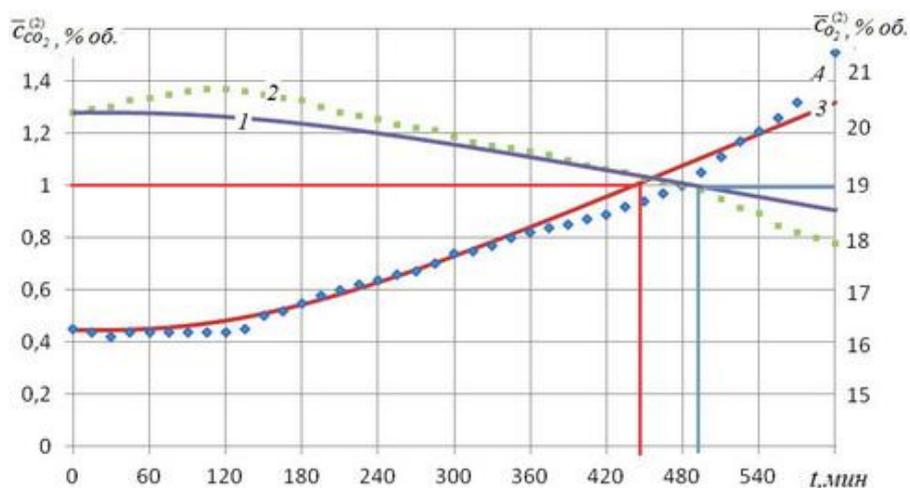


Рис. 2. Динамика изменения концентраций кислорода (1, 2) и углекислого газа (3, 4) в зоне II: 1, 3 - расчет; 2, 4 – эксперимент.

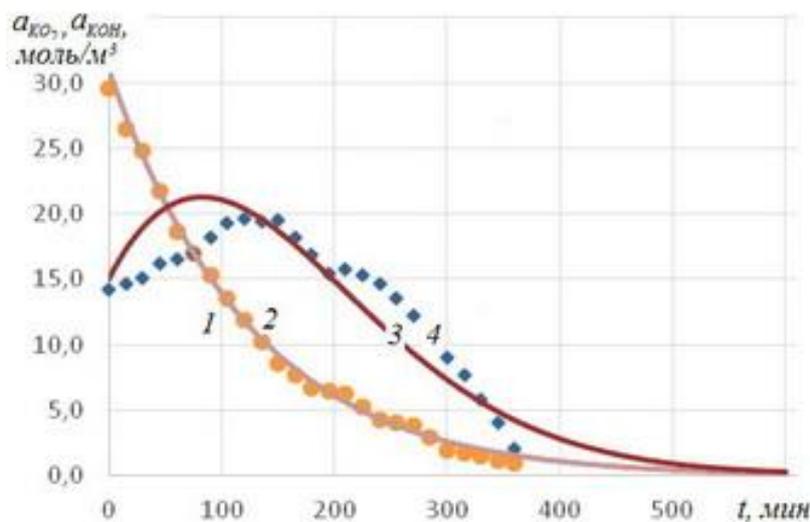


Рис. 3. Динамика изменения содержания CO_2 (1, 2) и KOH (3, 4) в хемосорбенте: 1, 3 - расчет; 2, 4 – эксперимент.

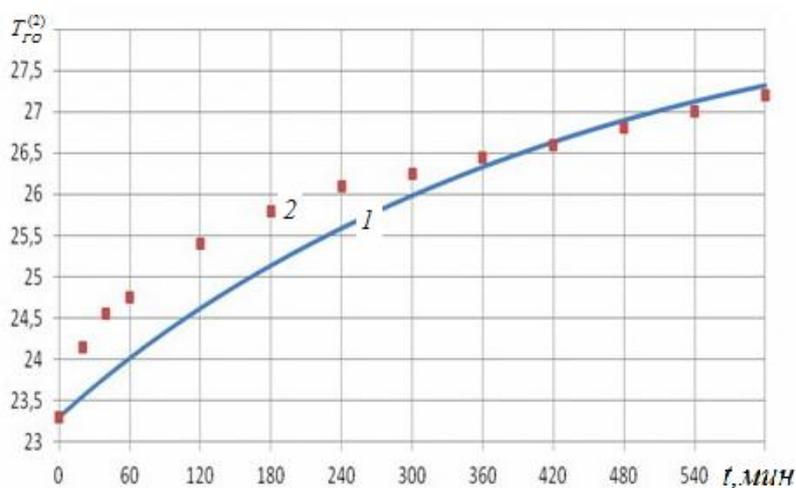


Рис. 4. Динамика изменения температуры в зоне нахождения людей (II): 1 – расчет, 2 – эксперимент.

Анализ графика на рис. 4 позволяет предположить, что начальный рост температуры (период 0 - 100 мин) обусловлен экзотермическими процессами хемосорбции диоксида углерода. В герметичном обитаемом объекте основными источниками тепла являются оборудование и люди, скорость повышения температуры в помещении становится близкой к линейной (период 400 - 600 с). В течение пяти часов температура в объекте повышается на $2,5^{\circ}\text{C}$, а за 10 часов - на $4,5^{\circ}\text{C}$, что заметно снижает комфортность пребывания людей в герметичном объекте. В то же время температура в объекте не достигает уровня, опасного для жизни и здоровья человека.

Максимальное рассогласование экспериментальных и расчетных данных не превышает 18%, что позволяет с приемлемой для практики точностью использовать разработанную математическую модель для проектирования хемосорбционного реактора с оптимальными ресурсами хемосорбента, обеспечивающими в герметичном объекте заданное время защитного действия.

Влияние на время защитного действия хемосорбционного реактора количества людей n , находящихся в герметично обитаемом объекте, их активности g , массы регенеративного продукта m иллюстрируют графики на рис. 5-10.

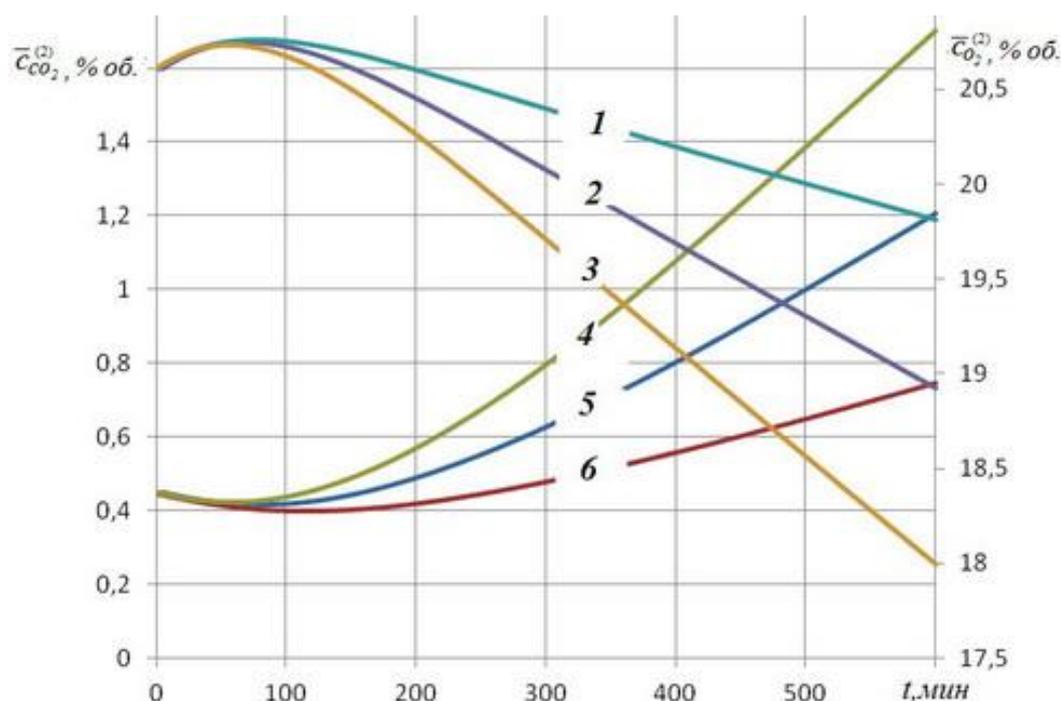


Рис. 5. Изменение концентрации кислорода (1-3) и углекислого газа (4-6) в герметичном обитаемом объекте в зависимости от количества людей n . $n = 2$ (1,6), 4 (2,5), 6 (3,4).

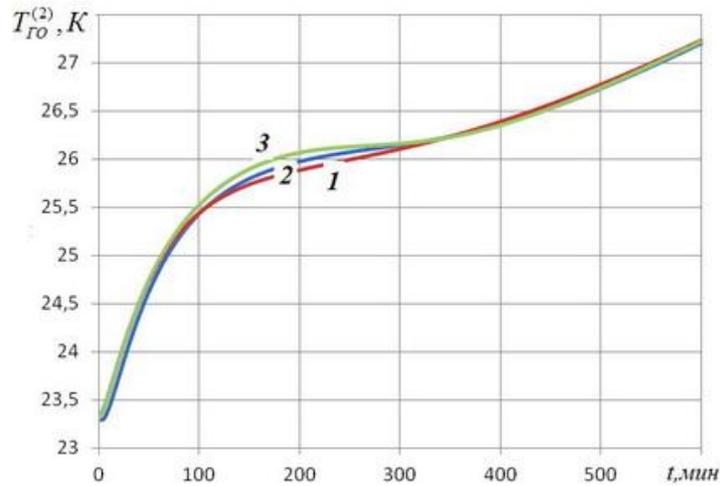


Рис. 6. Изменение температуры в герметичном обитаемом объекте в зависимости от количества людей n . $n = 2$ (1), 4 (2), 6 (3).

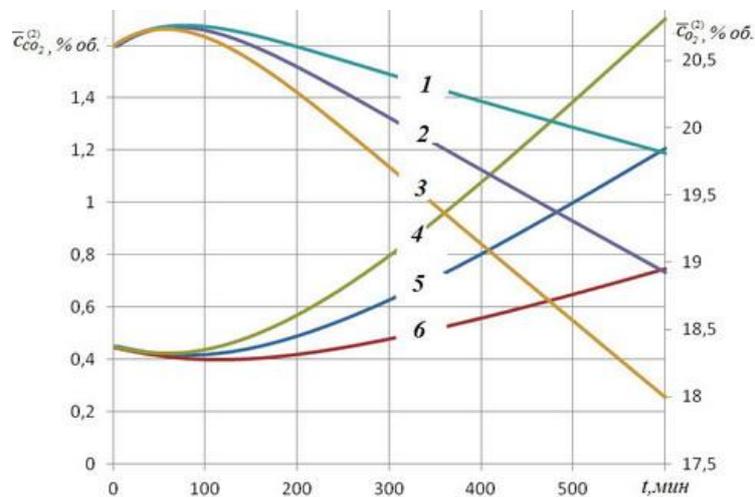


Рис. 7. Изменение концентрации кислорода (1-3) и углекислого газа (4-6) в герметичном обитаемом объекте в зависимости от режима дыхания людей g . $g = 25$ (1,6), 40 (2,5), 60 (3,4), л/мин.

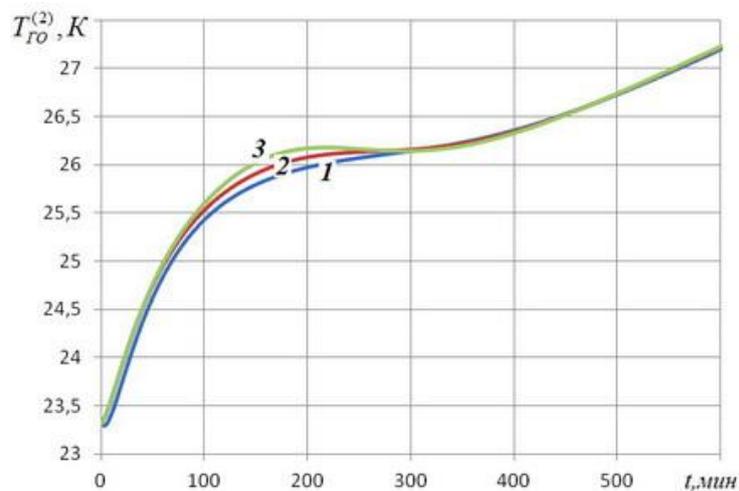


Рис. 8. Изменение температуры в герметичном обитаемом объекте в зависимости от режима дыхания людей $g = 25$ (1), 40 (2), 60 (3), л/мин.

Анализ графиков позволяет сделать вывод, что время защитного действия хемосорбционного реактора нелинейно зависит от количества людей n , находящихся в нем. При увеличении количества людей с 4 до 6 человек (и, соответственно, нагрузки на хемосорбционный реактор), время защитного действия сокращается на 37%. Сравнение режимов дыхания человека: нормального (25 л/час), при волнении или легкой нагрузке (40 л/час), в стрессовых условиях (60 л/час) показало, что переход от нормально режима к режиму при стрессовых условиях (при неизменном количестве человек, находящихся в обитаемом объекте) приводит к снижению времени защитного действия хемосорбционного реактора до 75%. При этом температура в помещении также поднимается до опасного для человека уровня (рис. 8). Из рис. 9, 10 видно, что для обеспечения заданного времени защитного действия хемосорбционного реактора при увеличении дыхательной нагрузки в 2 раза необходимо в среднем пропорциональное увеличение массы (и соответственно, площади поверхности) регенеративного продукта.

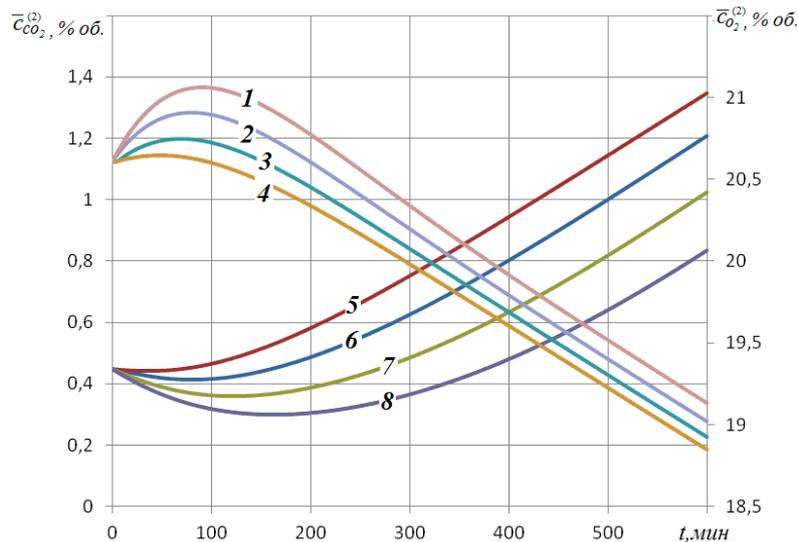


Рис. 9. Изменение концентрации кислорода (1-4) и углекислого газа (5-8) в герметичном обитаемом объекте в зависимости от массы хемосорбента m . $m = 1$ (4,5), 3 (3,6), 6 (2,7), 9 (1,8), кг.

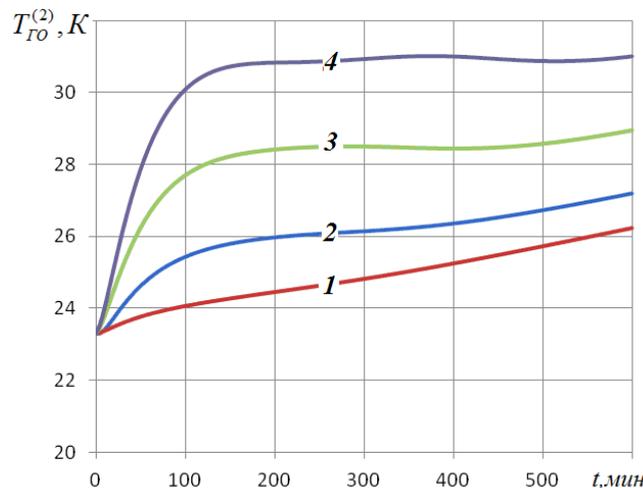


Рис. 10. Изменение температуры в герметичном обитаемом объекте в зависимости от массы хемосорбента $m = 1$ (1), 3 (2), 6 (3), 9 (4), кг.

Изменение концентрации углекислого газа и кислорода при различных значениях объема герметичного обитаемого объекта и соотношений зон представлены на рис. 11-15.

Проведен анализ динамики изменения концентраций кислорода и углекислого газа при одинаковой нагрузке n, g и обеспечении условий: $c_{CO_2}^{TO(2)}(x,t) \leq 1\%$ об. и $c_{O_2}^{TO(2)}(x,0) \geq 19\%$ об. путем периодической замены блока химической регенерации воздуха (БХРВ) для значений герметичного объема 24 м³, 18 м³, 12 м³.

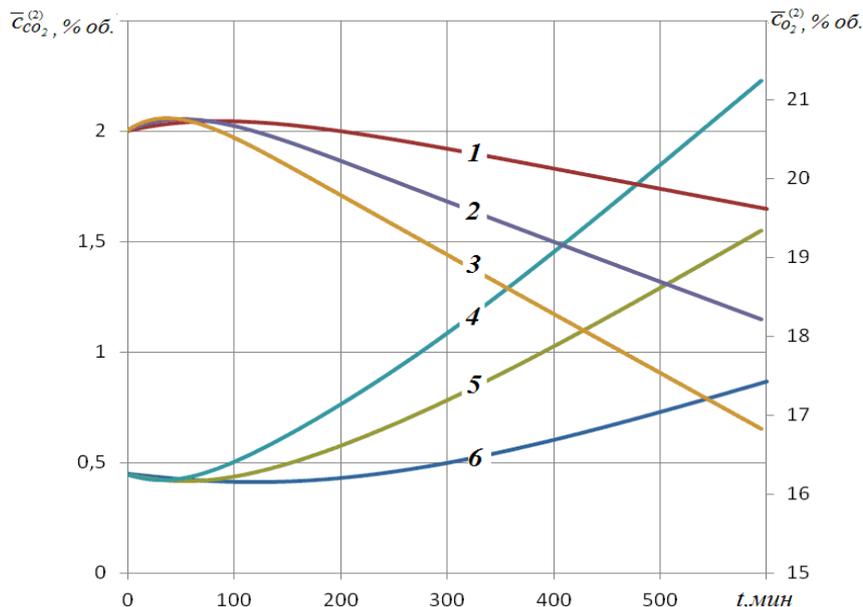


Рис. 11. Изменение концентрации кислорода (1-3) и углекислого газа (4-6) в герметичном обитаемом объекте в зависимости от соотношения объемов зон $V_{(I)}-V_{(II)}-V_{(III)}$ герметичного обитаемого объекта. 6-24-6 (1,6), 3-12-3 (2,5), 2-8-2 (3,4), м³.

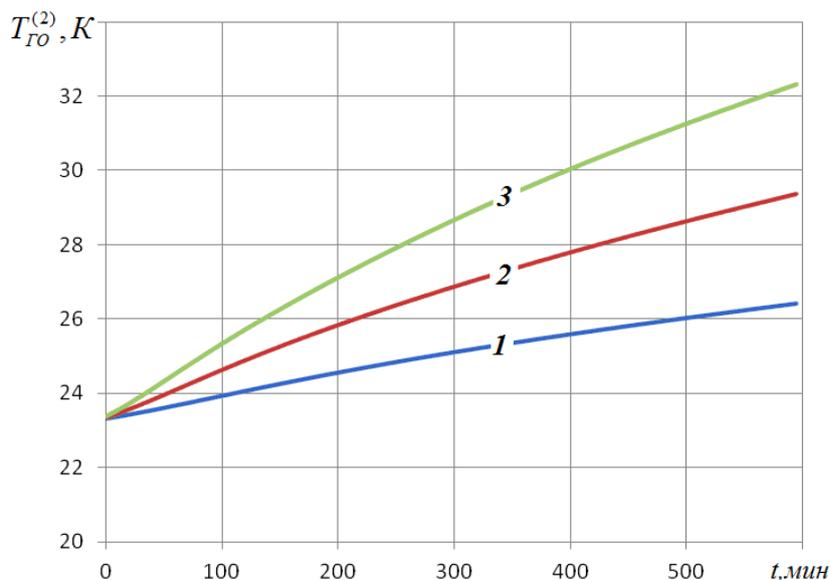


Рис. 12. Изменение температуры в герметичном обитаемом объекте в зависимости от соотношения объемов зон $V_{(I)}-V_{(II)}-V_{(III)}$ герметичного обитаемого объекта. 6-24-6 (1), 3-12-3 (2), 2-8-2 (3), м³.

С уменьшением объема герметичного обитаемого объекта пропорционально уменьшается время защитного действия хемосорбционного реактора, при этом периодичность замены БХРВ увеличивается: для объема 18 м³ - 9 замен (рис. 14), для объема 12 м³ - 13 замен (рис. 15). Влияние соотношения объемов между зонами иллюстрируют рис. 14, 15.

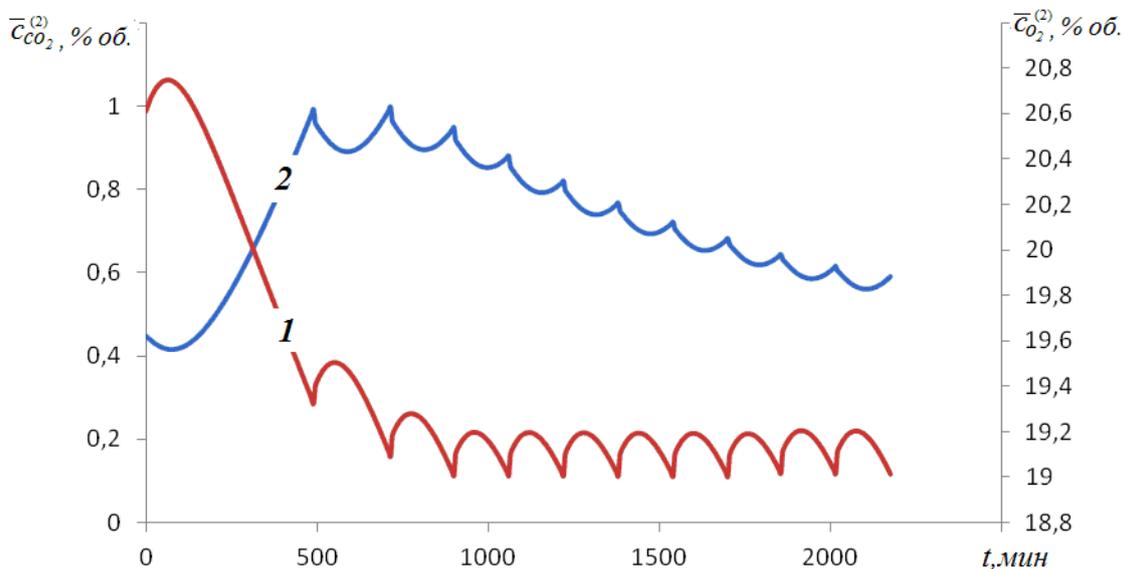


Рис. 13. Изменение концентрации кислорода (1) и углекислого газа (2) в герметичном обитаемом объекте при соотношении объемов зон $V_{(I)}-V_{(II)}-V_{(III)}$ герметичного обитаемого объекта 8-8-8, м³.

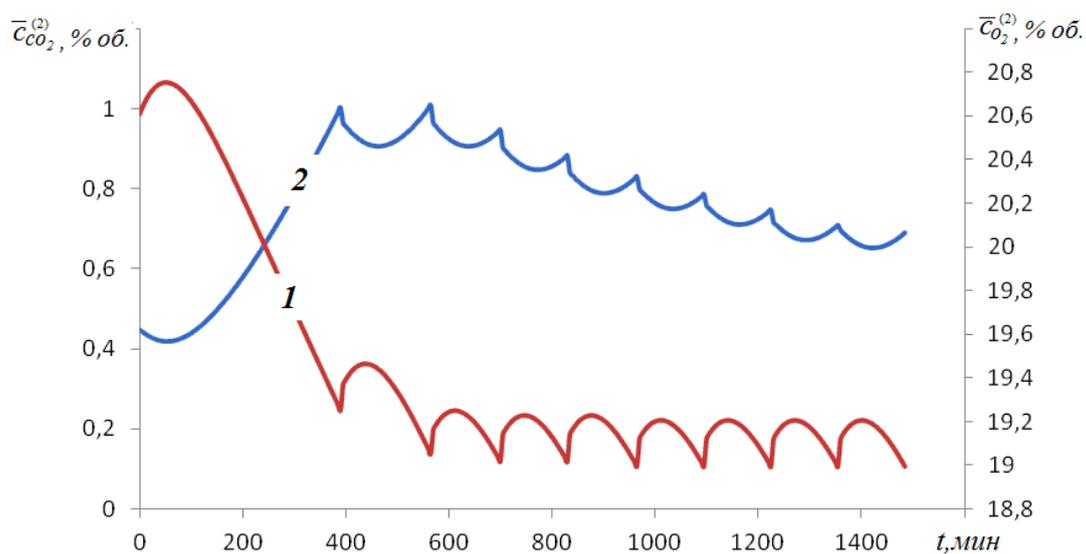


Рис. 14. Изменение концентрации кислорода (1) и углекислого газа (2) в герметичном обитаемом объекте при соотношении объемов зон $V_{(I)}-V_{(II)}-V_{(III)}$ герметичного обитаемого объекта 3-12-3, м³.

Несмотря на больший объем герметичного обитаемого объекта (24 м³, рис. 14), распределение зон в соотношении 8-8-8 приводит к необходимости замены БХРВ 11 раз (против 9 замен БХРВ для герметичного обитаемого объекта объемом 18 м³ и соотношения зон 3-12-3, рис. 14). Таким образом,

соотношение объемов зон в герметичном обитаемом объекте значительно влияет на время защитного действия хемосорбционного реактора и является источником неопределенности при решении задачи проектирования.

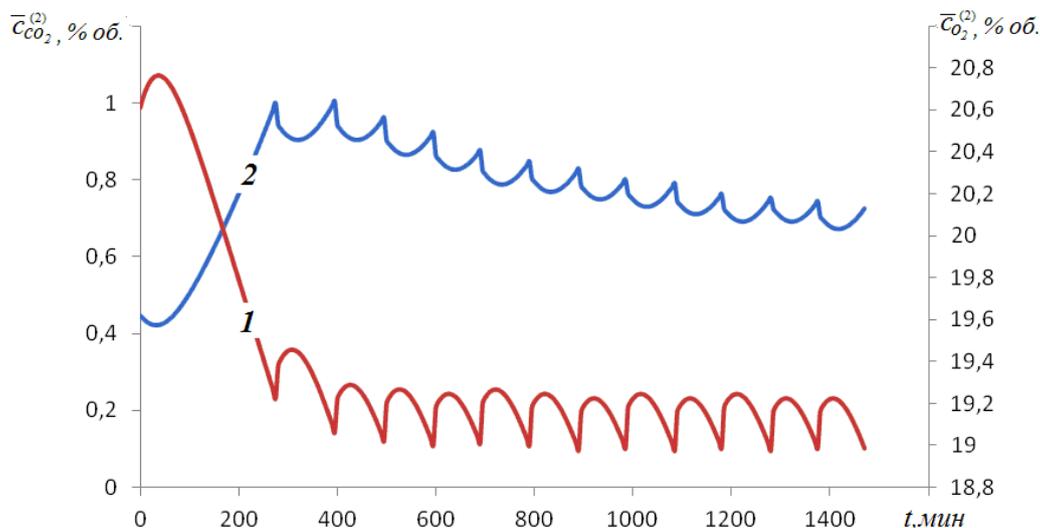


Рис. 15. Изменение концентрации кислорода (1) и углекислого газа (2) в герметичном обитаемом объекте при соотношении объемов зон $V_{(I)}-V_{(II)}-V_{(III)}$ герметичного обитаемого объекта 2-8-2, м³.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С использованием математической модели процесса регенерации воздуха в хемосорбционном реакторе исследована динамика изменения концентрации диоксида углерода, кислорода и температуры в герметично обитаемом объекте в зависимости от времени и нагрузки. Установлено, что время защитного действия хемосорбционного реактора нелинейно зависит от количества людей, находящихся в нем. Для обеспечения заданного времени защитного действия хемосорбционного реактора при увеличении дыхательной нагрузки в 2 раза необходимо в среднем пропорциональное увеличение массы (и, соответственно, площади поверхности) регенеративного продукта.

Установлена пропорциональная зависимость между объемом герметичного обитаемого объекта и временем защитного действия хемосорбционного реактора при одинаковой нагрузке. Установлено влияние соотношения объемов зон в герметичном обитаемом объекте на частоту замены блоков химической регенерации воздуха.

Работа выполнена при финансовой поддержке со стороны Минобрнауки России в рамках проектной части (ГЗ № 10.3533.2017/ПЧ).

Список литературы:

1. Гладышев Н.Ф., Гладышева Т.В., Дворецкий С.И. Системы и средства регенерации и очистки воздуха обитаемых герметичных объектов. М.: Изд. дом «Спектр», 2016. 204 с.

2. Гладышев Н.Ф., Гладышева Т.В., Путин С.Б., Дорохов Р.В., Симаненков Э.И., Плотников М.Ю., Родаев В.В. // Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева. 2012. Т. LVI, № 5-6. С. 130.
3. Дворецкий С.И., Плотников М.Ю., Гладышев Н.Ф., Гладышева Т.В. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2014. Т. 20. № 2. С. 292.
4. Гладышева Т.В., Гладышев Н.Ф., Дворецкий С.И. Нанокристаллический регенеративный продукт. М.: Изд. дом «Спектр», 2014. 120 с.
5. Дворецкий Д.С., Дворецкий С.И., Акулинин Е.И., Плотников М.Ю., Толстых С.Г. // Материалы международной научно-практической конференции В.И. Вернадский: устойчивое развитие регионов. Тамбов, 2016. С. 139.
6. Акулинин Е.И., Дворецкий Д.С., Дворецкий С.И., Туголуков Е.Н. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2012. Т. 18. № 1. С. 182.
7. Акулинин Е.И., Дворецкий Д.С. // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2010. № 4-6. С. 310.
8. Акулинин Е.И., Дворецкий Д.С., Дворецкий С.И. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2016. Т. 22. № 3. С. 411.
9. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1977. 735 с.

RESEARCH OF AIR REGENERATION PROCESS IN HABITABLE AIRTIGHT VOLUME

*D. S. Dvoretzky¹, E. I. Akulinin¹, S. G. Tolstykh¹, M. Y. Plotnikov²,
and S. I. Dvoretzky^{1*}*

¹Tambov State Technical University, Tambov, Russia,
*e-mail: sdvoretzky@tstu.ru

²ОАО Korporatsiya Roskhimzashchita, Tambov, Russia

Received April 13, 2017

Abstract – Using the previously developed mathematical model for air regeneration process in a chemisorption reactor installed in a sealed habitable volume, the authors studied the dynamics of changes of concentration of carbon dioxide and oxygen, and temperature in the airtight habitable volume, depending on time and respiratory load values for the chemisorption reactor. The influence of volume of the sealed habitable object and the ratio of its zones on the time of the protective action of the reactor under the same load was studied.

Keywords: air regeneration process, habitable sealed volume, mathematical model, chemisorption reactor, time of protective effect.