



УДК 544.473

НАНОКАТАЛИЗАТОР ДЛЯ ОЧИСТКИ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Н. М. Алыков, М. Н. Котельникова, С. Н. Алыков, Н. Н. Алыков, К. С. Тихонова, А. М. Михайлов, Р. С. Усачев, В. А. Лукманова, А. Е. Кудряшова, Р. Г. Абдуллаева, Е. М. Евсина, Т. В. Алыкова
Астраханский государственный университет,
Астраханский инженерно-строительный институт,
ООО «Кондиционер-СПб» (г. Санкт-Петербург)

В работе рассмотрены принципы формирования каталитических поверхностей с участием полимерных координационных соединений металлов. Дана оценка взаимодействия частиц в дисперсных системах, проведено математическое моделирование оценки способности к формированию мицелл с помощью расчета потенциала Леннарда – Джонса. Приведены результаты получения катализаторов на основе солей олеиновой кислоты с ионами d-элементов в области существования жидкокристаллической структуры воды.

Ключевые слова: наночастицы, катализаторы, полимерные координационные соединения ионов металлов, жидкие кристаллы.

The paper discusses the principles of catalytic surfaces formation involving polymeric coordinating compounds of metals. The authors assess interaction of particles in disperse systems and suggest mathematical modeling for assessment of ability to form micelles using calculation of the potential Lennard – Jones. The paper presents results of catalyst preparation on the basis of oleic acid salts with ions of d-elements in the domain of liquid-crystal structure of water.

Key words: nanoparticles, catalyst, polymer coordination compounds of metal ions, liquid crystals.

Введение. Принципы формирования каталитических поверхностей

В химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности, а также при очистке газообразных отходов предприятий и выхлопных газов автотранспорта от токсичных веществ широко используют катализаторы на различных носителях (SiO_2 , α - и γ - Al_2O_3 , цеолитах, оксидах магния и хрома, углеродистых материалах и др.). Для получения эффективного промышленного катализатора необходимо выбрать инертный носитель определенной пористой структуры, нанести на него активный металл или его оксид в виде частиц с заданным составом, размером, структурой и распределить эти частицы по носителю наилучшим образом.

Можно модифицировать носитель с целью создания достаточного количества центров зародышеобразования активных частиц, подбора материалов (носителя и активного компонента), обеспечивающих рост наночастиц благодаря структурному соответствию параметров кристаллических решеток, использования новых носителей с оригинальной геометрией порового пространства и многое другое [2, с. 167].

Обычно гетерогенный катализатор состоит из материала с высокой площадью поверхности, который служит для катализатора подложкой, и покрывающего ее поверхность слоя собственно катализатора, содержащего активные области типа кислотных центров. Примерами подложек могут быть оксид кремния (SiO_2), гамма-оксид алюминия (γ - Al_2O_3).

Создание высокоэффективных катализаторов может быть основано на знаниях механизмов формирования кластеров каталитических

систем, содержащих различные сочетания активных центров катализатора. Таковыми являются ионы металлов, имеющие вакантные d-орбитали, к ним можно отнести практически все элементы восьмой группы. Но каталитическая активность этих ионов зависит не только и не столько от количества их в каталитическом пространстве, но также от их взаимного расположения в кластере. Это правило используется для увеличения каталитической активности уже известных катализаторов [1, с. 28].

Нас интересует формирование каталитических поверхностей, то есть на поверхностях должны находиться определенным образом сформированные поликоординационные соединения (ПКС) железа, кобальта, никеля, марганца, молибдена, титана и других металлов. Также значительный интерес представляет формирование каталитической поверхности при участии ионов алюминия.

1. Полимерные координационные соединения ионов металлов

Многие соли не имеют компактного строения и являются координационными высокомолекулярными соединениями, для которых характерны все виды химических связей: ковалентные, ионные, координационные. В частности, известно, что определение молярных масс солей палладия, меди, бериллия, никеля, кобальта, титана и др. приводит к заключению о полимерном строении этих солей [5].

Взаимное расположение ионов в кластере изучалось во многих работах ученых-химиков. Так, в [6] было описано формирование полимерных координационных соединений с интересующими нас металлами. Мостиковыми связями могут быть соединены несколько координаци-

онных центров. Координационные связи увеличивают число связей между атомами путем вовлечения большего числа электронов и незаполненных орбиталей. Атомы металлов образуют координационные донорно-акцепторные связи, число которых превышает нормальную валентность за счет свободных орбиталей. Неметаллы образуют мостиковые связи, при этом используются неподеленные пары электронов, например -ОН, -NH₂, -SH, -Cl, -Br и др.

Вместе с тем в работе [6] рассматривается проблема формирования координационных полимерных соединений в водных и неводных средах. В водных растворах это возможно при определенных значениях pH среды. Первую стадию формирования таких соединений лучше всего оценивать по величинам pH начала гидролиза ионов металлов, которые также приведены в [6].

В статье [5] приводится исчерпывающая информация по вопросам формирования координационных полимерных соединений ионов металлов.

Например, гидролиз иона Al³⁺ был изучен различными авторами, которые подчеркнули присутствие многоядерных комплексов в растворе. В кислой среде образуются ионы состава Al[(OH)₅-Al₂]_x^{3+x}, а в щелочной среде ионы [Al(OH)₃]_x(OH)_{3x}; неизвестно, принимает ли x ряд значений или только определенные значения. В кислой среде наиболее вероятно образование комплекса Al₆(OH)₁₅³⁺, для которого предполагается циклическое строение (рис. 1).

Не исключено присутствие в растворе комплексов с большими степенями полимеризации.

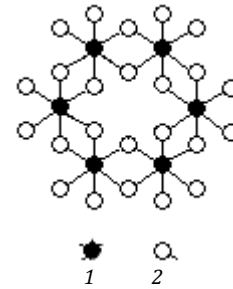


Рис. 1. Строение шестиядерного комплекса Al₆(OH)₁₅³⁺ aq:
1 – Al, 2 – OH или H₂O

Ионы титана в растворе образуют полимерные комплексы (рис. 2).

Почти все атомы интересующих нас ионов металлов образуют соединения с координационным числом равным 6. Комплексные ионы этих элементов обладают октаэдрической конфигурацией, то есть атом металла М окружен шестью аддендами, расположенными в вершинах октаэдра.

Полимеры типа [MA₃]_x. Во многих соединениях состава MA₃ центральный атом имеет реальное к. ч. = 6. Простейшая возможность осуществления этого состава – объединение октаэдров тремя ребрами с образованием плоской двумерной сетки типа [∞N. Такой структурой обладают некоторые галогениды трехвалентных металлов в безводном состоянии: CrCl₃, RuCl₃, AlCl₃, FeCl₃, AlF₃, BiI₃ и другие; гидроксиды трехвалентных металлов, такие как Al(OH)₃ (гидрагиллит) или некоторые комплексные соединения с высокомолекулярными анионами, такие как NH₄[HgCl₃] (рис. 3).

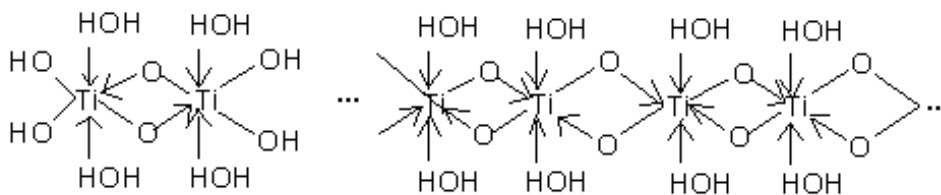


Рис. 2. Принципиальная схема строения полимерных координационных соединений титана (III)

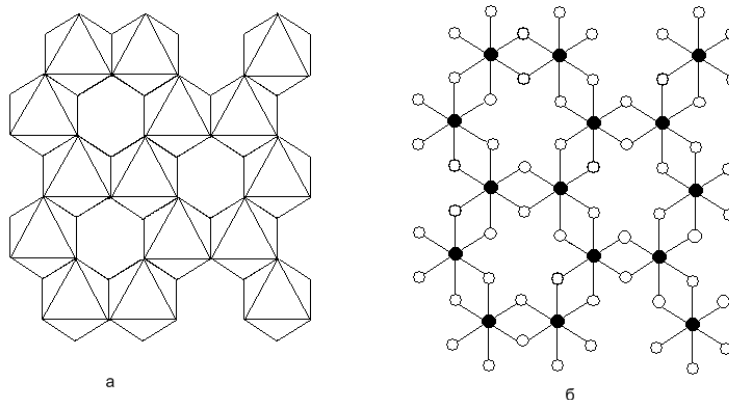


Рис. 3. Строение октаэдрического слоя [∞N] (октаэдры с общими ребрами):
а – стереохимический вид; б – координационные связи

В решетке этих соединений атом металла окружен шестью атомами галогена (или группами OH), которые образуют мостиковые связи с другими ядрами. Каждый атом галогена участвует в связи с двумя атомами металла [4].

Реакции гидролитической координационной полимеризации можно представить следующими уравнениями:

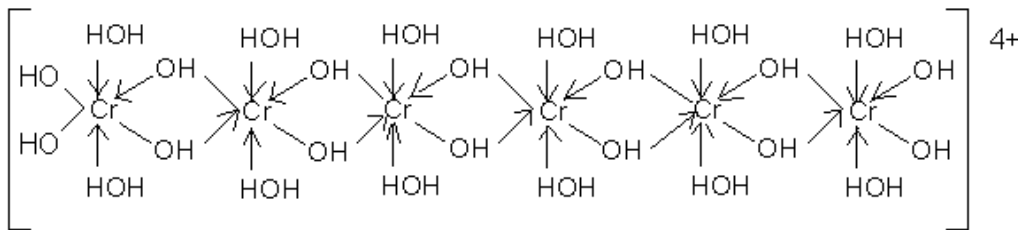
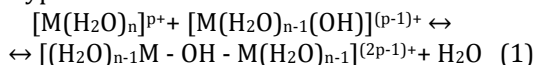


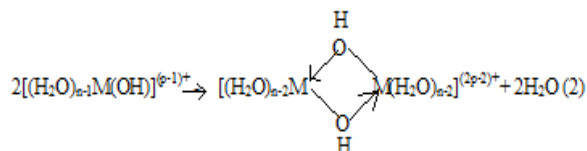
Рис. 4. Общая схема строения координационного полимера гидроксида хрома (III)

Увеличение концентрации ионов OH^- в растворе способствует реакциям, которые являются начальными этапами процесса полимеризации в растворе. При подщелачивании раствора соли до выделения гидроксида металла в растворе присутствуют координационные полимеры. Полимеризация развивается по мере подщелачивания и оканчивается осаждением гидроксида металла, который является высокополимером.

Для сохранения структуры координационных полимеров ионов металлов требуется понижение температуры, то есть в нашем случае это температура раствора соли металла в пределах от 4 до 8 °С.

При наличии высших жирных кислот во всех случаях выпадает осадок. Во избежание этого в систему, содержащую координационные полимерные соединения металлов или даже не координационные полимерные соединения (Ca, Mg) требуется предварительное введение поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые не образуют с координационными полимерными соединениями каких-либо продуктов реакции. Наиболее удачным является использование в качестве ПАВ раствора карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) с концентрацией от 0,5 до 5 %. В этих условиях при добавлении в раствор высших жирных кислот осадков не образуется. При этом формируются мицеллы, структуры которых можно назвать «малина», то есть сохраняется структура полимерного координационного соединения, а к каждому металлу присоединяется одна или две мицеллы высших жирных кислот.

Вместе с тем, подобный агрегат содержит в своей структуре определенное количество воды, жирных кислот, КМЦ и полимерного координационного соединения металла. Это могут



Продолжение реакции приводит к образованию координационных полимеров с повышенной молярной массой с 3, 4, 6 и большим числом металлческих ядер. Показана возможность образования комплексных полимеров (рис. 4).

быть сферы или какие-то другие фигуры, но для упрощения расчетов можно условно принять, что это сферы или эллипсоиды вращения, что позволяет с помощью несложного эксперимента оценить характеристики данных фигур.

Теперь картина складывается таким образом, что требуется лишь четкое определение содержания в мицелле иона металла. Для этого используются обычные способы, например ультрамикроскопия, где по известному количеству частиц, находящихся в единице объема, можно найти число отдельных ионов металлов в мицелле.

2. Оценка взаимодействия частиц в дисперсных системах

Вероятность формирования мицеллы или пены в водном растворе можно представить общей формулой [1]:

$$\varphi = \varphi(c, \alpha, p, E, pH, T, \mu, \epsilon_0, \epsilon_r, z_+, z_-, q_i, K_x), \quad (3)$$

где c – концентрации отдельных веществ в растворе; α – поляризуемость ионов или молекул; p – дипольные моменты ионов или молекул, составляющих раствор; E – потенциал Леннарда – Джонса; pH – водородный показатель раствора; T – температура; μ – ионная сила раствора; ϵ_r – диэлектрическая проницаемость; ϵ_0 – диэлектрическая постоянная; z_+ , z_- – заряды катиона и аниона у солей в водном растворе; q_i – заряды частиц; K_x – сумма координационных чисел сольватации аниона и катиона.

Заряды молекул в целом или отдельных их составляющих легко рассчитываются квантово-химическими методами:

$$q_i = 1,000 - \sum N c_i^2 (\psi_{\text{атом}}), \quad (4)$$

где N – число электронов в соответствующей занятой молекулярной орбитали ψ_i , c_i – коэффициент при атомной орбитали ϕ_i .



Наиболее распространенными видами взаимодействий в растворе, которые происходят между любыми частицами, являются ван-дер-ваальсовы взаимодействия. Количественной характеристикой энергии E ван-дер-ваальсовых взаимодействий является потенциал Леннарда – Джонса:

$$E = -\frac{C}{r^6} + \frac{B}{r^{12}}, \quad (5)$$

где C – константа дисперсионного притяжения, B – константа отталкивания, r – расстояние между центрами взаимодействующих групп.

Константу дисперсионного притяжения C для многоэлектронных систем рассчитывают с использованием различных приближенных квантово-химических расчетов, однако лучшие результаты дает ее выражение через электрические и магнитные свойства взаимодействующих частиц (атомов, простейших молекул или групп атомов в структуре сложных молекул) по формуле Кирквуда – Мюллера:

$$C = -6mc^2 \frac{\alpha_1 \alpha_2}{\alpha_1 \chi_1 + \alpha_2 \chi_2}, \quad (6)$$

где m – масса электрона, c – скорость света, α_1, α_2 – поляризуемости, χ_1, χ_2 – диамангнитные восприимчивости взаимодействующих частиц. Таким образом, константа C рассчитывается из свойств отдельных частиц.

Дипольные моменты молекул можно рассчитать по методу молекулярных орбиталей, а поляризуемость α лучше находить из формулы:

$$P_s = 4\pi \frac{\rho \cdot N_A}{M_r} \alpha \epsilon_0 \epsilon_r. \quad (7)$$

Диамангнитную восприимчивость χ_D молекулы принимают равной сумме атомных восприимчивостей, так что:

$$\chi_D = \sum n_i \chi_i + \lambda, \quad (8)$$

где n_i – число атомов; χ_i – атомная восприимчивость; λ – инкремент группы.

Потенциал Леннарда – Джонса и коагуляция. Наличие пространственной сетки водородных связей обуславливает большое поверхностное натяжение растворителя. Поверхностное натяжение тем выше, чем сильнее взаимодействие между молекулами или другими частицами, формирующими фазу. Процесс формирования пен и мицелл идет при низких значениях поверхностного натяжения, следовательно, и при низких значениях потенциала Леннарда – Джонса [5].

Потенциал Леннарда – Джонса имеет минимум для значений r , при которых производная dE/dr обращается в нуль:

$$\frac{dE}{dr} = -\frac{6C}{r^7} - \frac{12B}{r^{13}} = 0, \quad (9)$$

откуда равновесное расстояние:

$$r_0 = \sqrt[6]{\frac{2B}{C}}. \quad (10)$$

Подставляя (7) в (6) и заменяя в полученном выражении B через C и r_0 , получаем для энергии в точке минимума

$$E = -\frac{C}{2r_0^6}. \quad (11)$$

Таким образом, с использованием формул (1)–(11) может быть рассчитан потенциал Леннарда – Джонса и произведена оценка способности к формированию мицелл.

Известно, что порог коагуляции $c_{кр}$ обратно пропорционален шестой степени заряда z ионов-коагуляторов (Дерягин – Ландау):

$$c_{кр} = kT^5/z^6, \quad (12)$$

где T – температура системы; k – коэффициент, зависящий от физических свойств фаз системы.

Для области малых электрических потенциалов суммарная энергия взаимодействия частиц (пластин) равна

$$U(h) = 2\epsilon_0 \epsilon \chi \varphi_\delta^2 e^{-\chi h} - \frac{A^*}{12\pi h^2}, \quad (13)$$

где φ_δ – электрический потенциал диффузного слоя; χ – величина, обратная толщине диффузного слоя; A^* – константа Гамакера; h – расстояние между частицами (пластинами); ϵ – диэлектрическая проницаемость дисперсионной среды; ϵ_0 – электрическая постоянная.

В случаях, когда необходимо учитывать радиус взаимодействующих частиц r , суммарная энергия взаимодействия для слабозаряженных частиц рассчитывается по уравнению

$$U(h) = 2\pi \epsilon_0 \epsilon \cdot r \varphi_\delta^2 \ln(1 + e^{-\chi h}) - \frac{A^* \cdot r}{12h} \quad (14)$$

При больших потенциалах и расстояниях между частицами (пластинами) эта энергия определяется уравнением

$$U(h) = \frac{64c_0 RT}{\chi} \gamma^2 e^{-\chi h} - \frac{A^*}{12\pi h^2}, \quad (15)$$

где c_0 – концентрация противоионов в дисперсионной среде; γ – постоянная, определяемая величиной φ_δ . Величина c_0 в начале формирования мицелл может быть представлена как $c_{кр}$. Таким образом, в уравнении (15) можно заменить c_0 на kT^5/z^6 .

Отсюда имеем

$$U(h) = \frac{64kT^6 R}{\chi z^6} \gamma^2 e^{-\chi h} - \frac{A^*}{12\pi h^2} \quad (16)$$

3. Катализаторы на основе солей олеиновой кислоты с ионами d-элементов γ-оксида алюминия и карбоксиметилцеллюлозы

В данном разделе приведены результаты получения катализаторов из солей олеиновой кислоты, находящейся в форме суспензии в водных растворах на определенно выбранном участке температур.



Решение базируется на той основе, что в области температур 4–8 °С в воде образуются высоко диспергированные системы солей олеиновой кислоты с ионами металлов. При дальнейшем повышении температуры дисперсность систем становится меньше, и соли выпадают в осадок. В области температур 4–8 °С в воде, обработанной особым способом, присутствуют жидкие кристаллы, то есть сама вода в этой области состоит в подавляющем количестве из жидких кристаллов. В этих условиях поверхность жидких кристаллов в определенной степени насыщается солями олеиновой кислоты, при этом мицеллообразование солей ингибируется плотной сеткой водородных связей поверхности жидких кристаллов. Диспергирование системы, содержащей жидкие кристаллы и соли олеиновой кислоты, на холодную поверхность (4–8 °С) сферических, цилиндрических, плоских носителей с последующим высушиванием и прокаливанием дает возможность получать каталитические системы, в которых поверхность носителя покрыта практически мономолекулярным слоем каталитического компонента.

4. Медь-марганцевый сорбент-катализатор

Был получен медь-марганцевый сорбент-катализатор, с помощью которого можно очищать атмосферный воздух от оксида углерода в замкнутых пространствах, местах скопления людей и автотранспорта, учебных и лечебных учреждениях. Медь-марганцевый сорбент-катализатор содержит (мас. %): оксид кальция 69,0; оксид алюминия 5,4; оксид кремния 7,5; диоксид марганца 11,0; оксид марганца 2,8; оксид меди 2,2; вода 2,0; остальное (оксид железа) 0,1.

В технологии получения максимально сохраняются каталитические свойства диоксида марганца. Сульфаты d-элементов в щелочной среде переходят в гидроксиды, в процессе промывания затвердевших гранул сульфат-ионы и хлорид-ионы удаляются, при нагревании гранул

на уровне 140–180 °С гидроксиды ионов d-элементов переходят в оксиды. Лабораторные исследования показали, что полученные катализаторы-сорбенты эффективно окисляют оксид углерода в его диоксид. Это видно из следующих результатов.

Если начальная концентрация СО составляет 10,0 мг/м³, то концентрация СО после очистки 0,05–0,1 мг/м³, время контакта 5 с, степень очистки составляет 99,99 %.

Воздух предварительно осушают, пропуская его через природный цеолит (опоку Астраханской области), который раздроблен до размеров частиц 2–6 мм в диаметре, цеолит поглощает воду до 80 % от собственной массы.

Полиядерные ароматические углеводороды, фенолы, бензол, альдегиды поглощаются опокой вместе с водой из воздуха (выхлопных газов).

Испытание сорбента

Были поставлены опыты по очистке атмосферного воздуха от сероводорода, оксида углерода, диоксида углерода и диоксида серы на сорбенте. С целью изучения очистки воздуха в бутылках емкостью 5 дм³ создавали с помощью вакуумного насоса небольшое разрежение (остаточное давление ~0,6·10⁵ Н/м²) и через специальный патрубок пропускали газы, которые получали по реакции меди с серной кислотой (диоксид серы), по реакции сульфида натрия с серной кислотой (сероводород) или по реакции карбоната кальция с соляной кислотой (диоксид углерода), по реакции муравьиной кислоты с серной кислотой (оксид углерода). Далее в бутылку пропускали воздух до доведения общего давления до 1,02·10⁵ Н/м² и пропускали смесь воздуха и исследуемого газа из бутылки вначале через гранулы опок Астраханской области с диаметром 2–5 см, создавая разрежение на выходе из этой трубки. Кислые газы (СО₂, Н₂С, SO₂, NO₂) улавливаются сорбентом СВ-ДА (опоки, модифицированные диэтаноломином) (табл. 1).

Таблица 1

Результаты очистки загрязненного выхлопами автотранспорта воздуха блоком абсорберов, содержащих опоку (1-я стадия очистки), сорбент СВ-ДА (2-я стадия очистки), предложенный в данной заявке медь-марганцевый катализатор (3-я стадия очистки)

Показатели состояния и состава исходного загрязнения воздуха	Исходное значение	Проходит за 1 час через систему очистки, кг/ч	Осталось в воздухе после очистки (кг/ч)	Степень очистки, %
Расход воздуха, м ³ /ч	1000	1000,0	1000,0	
Относительная влажность воздуха, %	88–60	161,0	1,50	99,42
Температура воздуха, °С	10–30			
Вредности в выхлопе	об. %			
Расход выхлопа, м ³ /ч	100	100,0	100,0	
СО, об. %	10	12,50	0,10	99,20
СО ₂ , об. %	16	31,34	0,280	99,11
NO _x (NO ₂), об. %	0,8	1,64	0,010	99,31
SO ₂ , об. %	0,015	0,043	0,0004	90,70
Тетраэтилсвинец, об. %	0,003	0,042	0,0004	99,00
Альдегиды, об. %	0,2	0,52	0,0050	99,40
Углеводороды, об. %	3	16,07	0,1	99,40
Бенз(а)пирен, мг/м ³ , об. %	0,02	2,0 мг/м ³	0,01	99,50



Оксид углерода каталитически окисляется на третьей стадии очистки в абсорбере, содержащем данный сорбент.

Выводы

Был получен и испытан сорбент-катализатор для очистки атмосферного воздуха в замкнутых пространствах, в местах скопления автотранспортного транспорта, в том числе в авто-

паркингах. Основу сорбента составляют связующее вещество и катализатор, отличающийся тем, что в качестве связующих компонентов используются портландцемент-500 и опоки Астраханской области, а в качестве катализатора – диоксид марганца и сульфат меди или сульфат никеля, или сульфат кобальта, или сульфат титана (III), или молибдат аммония.

Список литературы

1. Алыков Н. М., Котельникова М. Н. Математическая модель пенообразования растворов, основанная на поляризационных представлениях // Экологические системы и приборы. 2010. № 10.
2. Бухтияров В. И., Слинько М. Г. Металлические наносистемы в катализе // Успехи химии. 2001. Т. 70, № 2.
3. Котельникова М. Н., Алыков Н. М. Математическое моделирование процессов пенообразования // Инженерная физика. 2010. № 11.
4. Томилин М. Г. Взаимодействие жидких кристаллов с поверхностью. СПб.: Политехника, 2001. 322 с.
5. Хайдук И. Полимерные координационные соединения // Успехи химии. 1961. Т. XXX, вып. 9. С. 1124–1173.
6. Шарло Г. Методы аналитической химии. М.: Химия, 1965. 976 с.

© Н. М. Алыков, М. Н. Котельникова, С. Н. Алыков, Н. Н. Алыков, К. С. Тихонова, А. М. Михайлов, Р. С. Усачев, В. А. Лукманова, А. Е. Кудряшова, Р. Г. Абдуллаева, Е. М. Евсина, Т. В. Алыкова

УДК 728:620.98

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЭКОДОМА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ СОЦИАЛЬНЫХ ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ

Д. О. Кустова, Г. А. Трухачева

Южный федеральный университет (г. Ростов-на-Дону)

Статья посвящена возможности использования инженерно-технических систем для различных социальных слоев населения. Объектом исследования являются экологически-нейтральные и энергоэффективные системы жизнеобеспечения. При помощи материалов, взятых из научных журналов, сборников и книг, были проанализированы и описаны основные типы инженерно-технических средств экологически чистого и энергоэффективного дома, перечислены критерии, которым должны удовлетворять эти устройства, выявлены плюсы и минусы их использования. На основе этих данных была проанализирована ценовая доступность подобных систем и даны рекомендации по автономному, коллективному либо совместному с местными электросетями использованию энергоэффективных систем. В качестве вывода представлена таблица дифференциации инженерно-технических устройств для различных социальных групп населения.

Ключевые слова: инженерно-технические системы, энергоэффективные технологии, альтернативные источники энергии, экодом, энергоснабжение.

The article focuses on the possibility of using technical and engineering systems for various social groups. The object of the study is environmentally neutral and energy-efficient life supporting systems. With the help of the materials taken from scientific journals, proceedings and books the authors analyzed and described the main types of technical and engineering means of the environmentally friendly and energy-efficient home; the criteria imposed for these devices were emphasized. Advantages and disadvantages of these devices were found out. Cost efficacy of such systems was analyzed on the basis of these data, recommendations for autonomous and communal application of these energy saving systems were worked out. In conclusion the authors give a differentiation table for engineering and technical devices meant for different social groups.

Key words: technical and engineering systems, energy efficient technologies, alternative energy, eco friendly house, energy supply.

Экологически-нейтральные и энергоэффективные технологии уже имеют широкое распространение и успешно развиваются во многих странах. Однако нигде не говорится от том, какие системы для каких социальных групп населения могут быть доступны.

Подобное исследование является особенно актуальным в наше время, так как существует необходимость изучения особенностей использования различных типов автономных инженерных систем в жилых зданиях экономкласса.

Для начала необходимо понять, что же представляют собой эти инженерные системы.

Инженерные системы экодома – это снижение объемов использования невозобновляемого топлива, уменьшение вредных выбросов, чистые для окружающей экосистемы стоки, удобрения. Инженерно-технические системы экодома обеспечивают проживающих в нем людей теплом, чистой водой, свежим воздухом, энергосберегающим освещением.

Главные критерии, которым должны удовлетворять инженерные системы: автономность, использование альтернативных источников энергии, энергоэффективность, экологичность, экономичность.