

ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО АППАРАТА ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ГИДРОЦИКЛОННОЙ ОЧИСТКИ МОЮЩИХ РАСТВОРОВ

Е. И. Мажугин, канд. техн. наук, доцент, А. Л. Казаков, ст. преподаватель (УО БГСХА)

Аннотация

В статье дано теоретическое обоснование геометрических параметров электромагнитного аппарата, применяемого для интенсификации гидроциклонной очистки моющих растворов, используемых в ремонтном производстве.

Введение

Известно, что магнитное поле приводит к нарушению агрегативной устойчивости загрязнений в жидких дисперсных системах [1, 2]. Существуют работы, в которых показана возможность применения магнитной обработки дисперсных систем совместно с их очисткой в циклоне [3, 4, 5], а также ряд работ по интенсификации работы гидроциклонов [6, 7, 8, 9, 10].

Магнитную обработку можно использовать для интенсификации гидроциклонной очистки моющих растворов, используемых в ремонтном производстве. Известно, что частицы загрязнений проходя через силовые линии магнитного поля, образованного магнитным аппаратом, поляризуются и притягиваются одна к другой, образуя агрегаты. Такое преобразование мелкодисперсных загрязнений в крупнодисперсные может существенно повысить эффективность очистки моющего раствора в гидроциклонах, для которых масса и размер загрязнений имеют решающее значение.

Проведенные нами лабораторные эксперименты [11, 12] подтвердили влияние магнитного поля на агрегативную устойчивость. Предложено [12] устанавливать электромагнитный аппарат на входе в гидроциклон, что позволит интенсифицировать гидроциклонную очистку моющих растворов.

Основываясь на необходимости простоты конструкции электромагнитного аппарата и обеспечении достаточной эффективности его работы, авторами предложена и запатентована конструкция электромагнитного аппарата соленоидного типа, в котором обрабатываемая жидкость меняет направление движения, при этом неоднократно пересекая силовые линии магнитного поля [13].

Основная часть

Для обоснования геометрических параметров электромагнитного аппарата необходимо знать время, в течение которого загрязнения скоагулируют под воздействием создаваемого им магнитного поля. Для этого необходимо решить задачу по определению времени магнитной коагуляции частиц загрязнений, находящихся в магнитном поле электромагнитного аппарата.

Для того чтобы представить характер изменения магнитного поля в электромагнитном аппарате, необходимо отнести его конструкцию к одной из магнитных систем, для которой известно изменение градиента напряженности магнитного поля. Так как нами используется электромагнитный аппарат соленоидного типа, имеющий внутреннюю вставку [13], его магнитную систему можно упрощенно представить в виде кольцевого зазора (рис. 1).

Кольцевой зазор создает поле с напряженностью H_x , изменяющейся по закону [5]:

$$H_x = \frac{\bar{H}_0 r_0}{r_0 + X}, \quad (1)$$

где \bar{H}_0 – напряженность на поверхности внутреннего цилиндрического полюса;

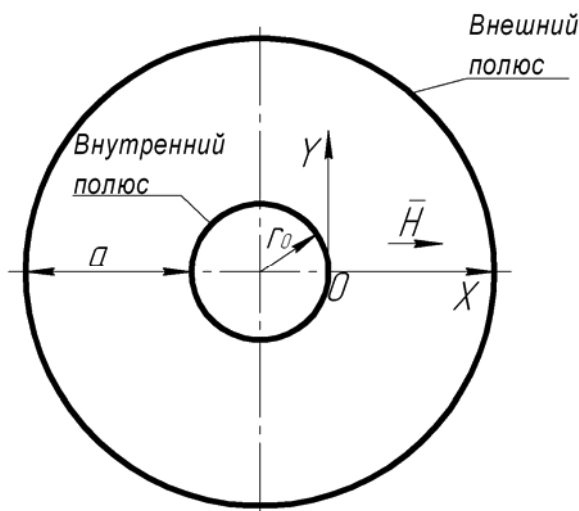


Рисунок 1. Магнитная система в виде кольцевого зазора

r_0 – радиус внутреннего цилиндрического полюса;
 X – текущая координата точки, в которой измеряется напряженность.

Поведение частиц загрязнений в магнитном поле можно описать системой дифференциальных уравнений, решение которой может быть облегчено введением ряда допущений:

1) каждая частица является однородной, изотропной и сферической;

2) скорость движения частиц в моющем растворе ограничивается областью закона Стокса;

3) моющий раствор движется с постоянной скоростью v_y вдоль магнитной системы в виде кольцевого зазора (рис. 2);

4) все виды коагуляции, кроме магнитной, вследствие незначительности не учитываются.

Под действием магнитного поля скорость \bar{v} движения частиц, кроме составляющей v_y , приобретает составляющую v_x , в результате чего происходит осаждение частиц на внешний полюс и они считаются скоагулированными.

Систему дифференциальных уравнений, описывающих поведение частицы в магнитном поле (рис. 2), можно записать в виде:

$$\left. \begin{aligned} m \frac{dv_x}{dt} &= \bar{F}_c + \bar{F}_m \pm \bar{F}_k \\ \frac{dX}{dt} &= v_x \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где m – масса частицы;

$\frac{d\bar{v}}{dt}$ – ускорение частицы под действием маг-

нитного поля;

\bar{F}_c – сила вязкого трения;

\bar{F}_m – сила магнитного поля;

\bar{F}_k – сила взаимодействия частиц в магнитном

поле;

dX – элемент пути частицы.

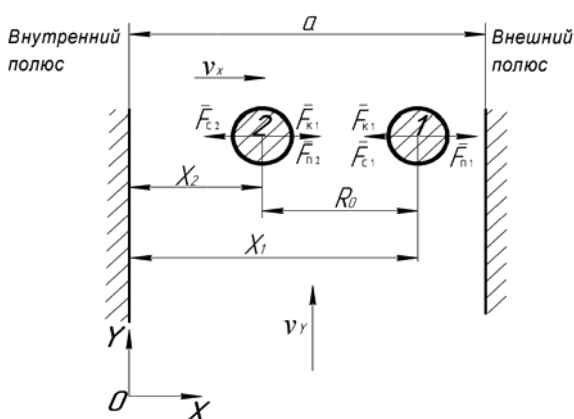


Рисунок 2. Схема сил, действующих на частицы в электромагнитном аппарате

Зная скорость потока v_y вдоль магнитной системы, параметры среды и частиц загрязнений, можно определить время коагуляции $t_k = f(d_q)$, по истечении которого частицы размером d_q достигнут внешнего полюса электромагнитного аппарата. На основании t_k для известных условий можно определить необходимую длину зоны электромагнитной обработки моющего раствора, т.е. геометрические параметры электромагнитного аппарата.

Для определения $t_k = f(d_q)$ составим упрощенную систему уравнений, описывающих движение частицы 1 (рис. 2).

Сила магнитного поля \bar{F}_m является равнодействующей двух сил: силы, обусловленной зарядом частицы $\bar{F}_q = q \cdot \bar{H}$, где q – заряд частицы; пондеромоторной силы \bar{F}_n . Первой составляющей можно пренебречь ввиду ее малой величины. Тогда для частицы 1 система уравнений (2) примет вид:

$$\left. \begin{aligned} m \frac{dv_{x1}}{dt} &= \bar{F}_c + \bar{F}_{n1} \\ \frac{dX_1}{dt} &= v_{x1} \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

где \bar{F}_{n1} – пондеромоторная сила.

Предположение о том, что осаждение частиц под действием магнитного поля происходит именно на внешний полюс, обосновывается тем, что значение пондеромоторной силы \bar{F}_n в первом уравнении системы (3) значительно больше силы вязкого трения \bar{F}_c . Для частиц, обладающих слабомагнитными свойствами, значение пондеромоторной силы определяется по формуле [7]:

$$\bar{F}_n = \frac{4}{3} \pi r_q^3 \mu_0 \chi H \text{grad} H, \quad (4)$$

где r_q – радиус частицы загрязнения;

μ_0 – магнитная постоянная, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

χ – магнитная восприимчивость частицы.

Градиент изменения напряженности магнитного поля, создаваемого магнитной системой в виде кольцевого зазора [4], определяется по формуле:

$$H \text{grad} H = \frac{\bar{H}_0^2 \cdot r_0^2}{(r_0 + X)^3}. \quad (5)$$

С учетом формулы (5), формула (4) получает вид:

$$\bar{F}_n = \frac{4}{3} \pi r_q^3 \mu_0 \chi \frac{\bar{H}_0^2 \cdot r_0^2}{(r_0 + X)^3}. \quad (6)$$

Сила вязкого трения определяется по формуле:

$$F_c = 6\pi \eta r_q v, \quad (7)$$

где η – динамическая вязкость моющего раствора.

Подставив значения составляющих в уравнения (6) и (7), например, для частицы диаметром $d_q=5$ мкм,

получаем $\bar{F}_n = 0,4554 \cdot 10^{-5}$ ГнА/м, $\bar{F}_c = 0,0048 \cdot 10^{-5}$ Н, то есть $\bar{F}_n \gg \bar{F}_c$.

Для упрощения решения системы уравнений (3) значением вязкого трения \bar{F}_c можно пренебречь. Подставив значения членов и разделив первое уравнение системы (3) на m , получим:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dv_{x1}}{dt} &= \frac{\bar{F}_{n1}}{m} \\ \frac{dX_1}{dt} &= v_{x1} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Подставив уравнение (6) в первое уравнение системы (8), с учетом начальных условий, при $t_k=0$; $X_1(0)=0$; $v_{x1}(0)=0$, получаем:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dv_{x1}}{dt} &= \frac{4\pi r_0^3 \mu_0 \chi_1 \bar{H}_0^2 r_0^2}{3m(r_0 + X_1)^3} \\ \frac{dX_1}{dt} &= v_{x1} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Решим систему уравнений (9) относительно времени $t_k = f(d_c)$. Для упрощения выражений примем $t_k=t$, $X_1=X$, $v_{x1}=v$.

За начальное расстояние частицы от внутреннего цилиндрического полюса (рис. 2) принимаем значения $X=0=r_0$. В данном случае путь частицы от внутреннего полюса до внешнего полюса будет максимальным и равным a .

Преобразуем уравнение (6) к виду:

$$\bar{F}_n = \frac{A}{(r_0 + X)^3}, \quad (10)$$

где $A = \frac{4}{3m} \pi r_0^3 \mu_0 \chi_1 \bar{H}_0^2 r_0^2$ – введенная переменная.

Уравнение движения частицы запишется в виде:

$$\frac{d^2 X}{dt^2} = \frac{A}{(r_0 + X)^3}. \quad (11)$$

Это дифференциальное уравнение второго порядка не содержит явно t , в связи с чем можно понизить его порядок, введя новую искомую функцию

$v = \frac{dX}{dt}$, которую будем рассматривать в зависимости от X . Тогда

$$\frac{d^2 X}{dt^2} = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dX} \cdot \frac{dX}{dt} = v \frac{dv}{dX}. \quad (12)$$

Приравняв правые части уравнений (11) и (12), получим:

$$v \frac{dv}{dX} = \frac{A}{(r_0 + X)^3}. \quad (13)$$

Разделим переменные, умножив на dX :

$$v dv = \frac{A dX}{(r_0 + X)^3}. \quad (14)$$

Проинтегрируем обе части уравнения (14) [14]:

$$\int v dv = \frac{v^2}{2}; \quad (15)$$

$$\int \frac{A dX}{(r_0 + X)^3} = A \int (r_0 + X)^{-3} dX = -\frac{A}{2(r_0 + X)^2} + C. \quad (16)$$

Приравняв правые части уравнений (15) и (16) находим:

$$v^2 = -\frac{A}{(r_0 + X)^2} + C. \quad (17)$$

При $t=0$; $X=0$; $v=0$ из уравнения (17) находим C :

$$C = \frac{A}{r_0^2}. \quad (18)$$

Тогда

$$v^2 = \frac{A}{r_0^2} - \frac{A}{(r_0 + X)^2} = \frac{A[(r_0 + X)^2 - r_0^2]}{r_0^2 (r_0 + X)^2}. \quad (19)$$

$$v = \frac{dX}{dt} = \frac{\sqrt{A[(r_0 + X)^2 - r_0^2]}}{r_0 (r_0 + X)}. \quad (20)$$

Уравнение (20) – дифференциальное первого порядка. Разделим переменные:

$$\frac{r_0 (r_0 + X)}{\sqrt{A} \cdot \sqrt{(r_0 + X)^2 - r_0^2}} dX = dt. \quad (21)$$

После интегрирования правая часть уравнения (21) дает $t+C$. В левой части интеграла обозначим $(r_0 + X)^2 - r_0^2 = z$.

Тогда $2(r_0 + X) dX = dz$.

Получаем:

$$\begin{aligned} \frac{r_0}{\sqrt{A}} \int \frac{r_0 + X}{\sqrt{(r_0 + X)^2 - r_0^2}} dX &= \frac{r_0}{2\sqrt{A}} \int \frac{dz}{\sqrt{z}} = \\ &= \frac{r_0}{\sqrt{A}} \sqrt{z} = \frac{r_0}{\sqrt{A}} \sqrt{(r_0 + X)^2 - r_0^2}. \end{aligned} \quad (22)$$

Тогда

$$\frac{r_0}{\sqrt{A}} \sqrt{(r_0 + X)^2 - r_0^2} = t + C. \quad (23)$$

При $t=0$; $X=0$ из уравнения (23) получим $C=0$. Тогда получаем уравнение для определения t_k :

$$t_k = \frac{r_0}{\sqrt{A}} \sqrt{(r_0 + X)^2 - r_0^2}. \quad (24)$$

Время полного перемещения от внутреннего полюса к внешнему получим при $X_1 = a$ (в данном случае d_c по сравнению с a пренебрежимо мало).

Если в уравнение (24) вместо A (пояснения к формуле (10)) подставить его значение, то получим:

$$t_k = \frac{r_0 \sqrt{3m} \sqrt{(r_0 + a)^2 - r_0^2}}{2 \sqrt{\pi \mu_0 \chi} \bar{H}_0 r_0 \sqrt{r_0^3}} \quad (25)$$

Приведенную теоретическую зависимость можно использовать для обоснования параметров конструкции электромагнитного аппарата соленоидного типа [13]. Приняв значение напряженности магнитного поля $H=10$ кА/м [3, 7], магнитной восприимчивости частиц $\chi = 3 \cdot 10^{-6}$ [15], а также задавшись рекомендуемыми конструктивными параметрами электромагнитного аппарата r_0 и a , можно определить время коагуляции для частиц различного диаметра.

Исходя из конструктивной схемы аппарата и скорости движения моющего раствора, находим площадь прохода раствора A_p в электромагнитном аппарате. Производительность гидроциклона составляет $Q_f=7$ м³/ч, скорость движения моющего раствора во впускном патрубке $v_{вп} = 1,2$ м/с, тогда

$$A_p = Q_f / v_{вп} \quad (26)$$

По формуле (26) имеем:

$$A_p = 7 \cdot 10^6 / 3600 \cdot 120 = 16,2 \text{ см}^2.$$

По существующим данным об оптимальных зазорах в электромагнитных аппаратах различных конструкций [5] принимаем $\Delta_2=a$ (рис. 3) равным 5 мм.

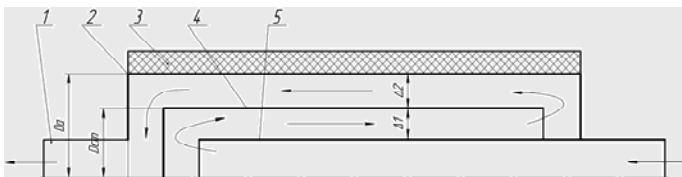


Рисунок 3. Конструктивная схема электромагнитного аппарата: 1 – отводящий патрубок; 2 – корпус; 3 – обмотка, 4 – стакан; 5 – подводный патрубок

Корпус электромагнитного аппарата изготовлен из пластмассовой трубы с внешним диаметром $D_a = 64$ мм, внутренний диаметр $d_a = 56$ мм.

Внешний диаметр стакана $D_{ст}=2r_0$ находится как

$$D_{ст}=D_a-2\Delta_2, \quad (27)$$

$$D_{ст}=56-2 \cdot 5=46 \text{ мм}.$$

Толщина стенки стакана равна 4 мм, находим зазор Δ_1 между внутренней стенкой стакана и входным патрубком, внешний диаметр $d_{вх}$ которого равен 26 мм – $\Delta_1 = 6$ мм.

Площади прохода моющего раствора в аппарате в сумме дают площадь A_p , рассчитанную выше, $A_p = 16,2$ см².

Подставив исходные данные в формулу (25) для частиц диаметром $d_ч=1-50$ мкм, получаем зависимость $t_k = f(d_ч)$ (рис. 4, 5).

Из зависимостей 4 и 5 видно, что чем больше напряженность магнитного поля H , тем меньше время коагуляции t_k . В зависимости от диаметра частиц $d_ч$ величина t_k имеет строго убывающий характер. При $d_ч \rightarrow 0$, $t_k \rightarrow \infty$, а при $d_ч \rightarrow \infty$, $t_k \rightarrow 0$.

Длину активной зоны электромагнитного аппарата L принимаем исходя из рассчитанного времени коагуляции t_k и скорости движения моющего раствора через электромагнитный аппарат. Так, для того чтобы скоагулировали частицы диаметром $d_ч \leq 2$ мкм при скорости движения раствора $v_{вп} = 1,2$ м/с необходимая длина электромагнитного аппарата должна составлять $L=0,552$ м.

Выводы

1. Решение задачи по магнитной коагуляции загрязнений в электромагнитном аппарате позволило получить теоретическую зависимость для времени коагуляции.

2. Определены геометрические параметры электромагнитного аппарата: на основании рекомендаций приняты оптимальные величины зазоров в электромагнитном аппарате и на основании построенных графических зависимостей времени магнитной коагуляции от диаметра частиц обоснована необходимая длина зоны магнитной обработки моющего раствора.

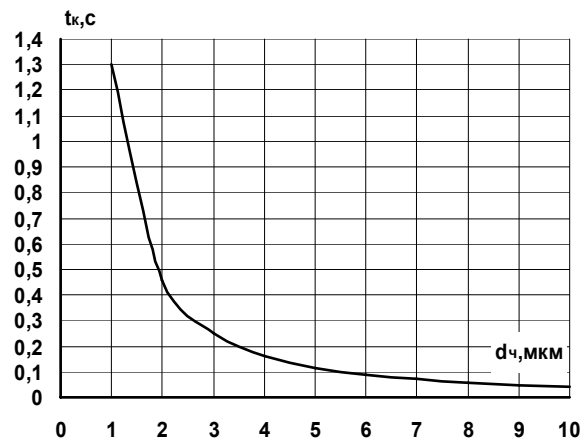


Рисунок 4. Зависимость времени коагуляции t_k при диаметре частиц загрязнений $d_ч = 1-10$ мкм

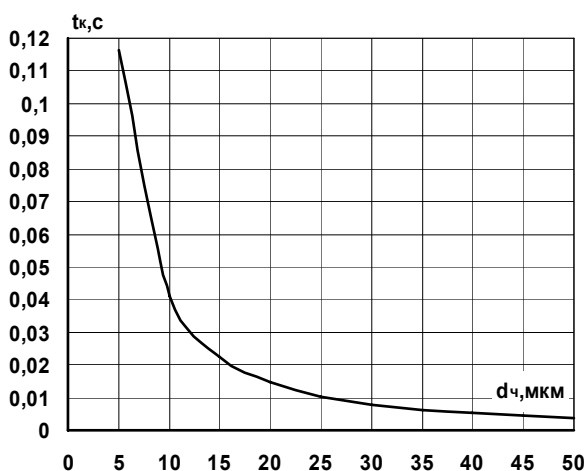


Рисунок 5. Зависимость времени коагуляции t_k при диаметре частиц загрязнений $d_ч = 5-50$ мкм

ЛИТЕРАТУРА

1. Классен, В.И. Омагничивание водных систем / В.И. Классен. – М.: Химия, 1982. – 296 с.
2. Классен, В.И. О влиянии магнитной обработки воды на агрегативную устойчивость суспензии / В.И. Классен, Ю.З. Зиновьев // Коллоидный журнал. – 1967. – Т.29. – № 5. – С. 758 – 759.
3. Стукалов, П.С. Магнитная обработка воды / П.С. Стукалов, Е.В. Васильев, Н.А. Глебов. – Л.: Судостроение, 1969. – 190 с.
4. Измоденов, Ю.А. Магнитный метод газоводочистки / Ю.А. Измоденов, А.Ф. Скворцов. – Симферополь: Таврия, 1972. – 112 с.
5. Миненко, В.И. Магнитная обработка водно-дисперсных систем / В.И. Миненко. – Киев: Техника, 1970. – 165 с.
6. Мартьянов, Ю.А. Применение гидроциклона с наложенным магнитным полем при классификации магнетитовой руды и обесшламливания магнетитовых концентратов / Ю.А. Мартьянов, П.В. Мирошников, В.Ф. Ульянов // Очистка сточных и оборотных вод предприятий цветной металлургии. – Алма-Ата: Казмеханообр, 1969. – С. 166-174.
7. Новиков, Л.С. Обогащение в гидроциклонах / Л.С. Новиков, В.В. Троицкий. – М.: Недра, 1970. – 80 с.
8. Усачев, П.А. Испытание электромагнитного гидроциклона с концентратором магнитного потока / П.А. Усачев, П.И. Зеленов // Физико-химические основы обогащения полезных ископаемых. – Л.: Наука, 1972. – С. 96 – 101.
9. Шкрыкин, В.В. Способ повышения КПД малых котельных / В.В. Шкрыкин // Группа компаний СТКС [Электронный ресурс]. – 2002. – Режим доступа: http://www.stks.ru/1217_p1_n20718. – Дата доступа: 28.07.2006.
10. Гидромагнитная противонакипная установка ГЦБ-1 // Продукция компании Kwatro [Электронный ресурс]. – 2004. – Режим доступа: <http://www.kwatro.ru/index.php.produktID=21806>. – Дата доступа: 23.10.2006.
11. Казаков, А.Л. Обоснование необходимости интенсификации гидроциклонной очистки моющих растворов / А.Л. Казаков // «НИРС-2003»: тезисы докл. VIII респ. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов, Минск, 9–10 дек. 2003 г.: в 7 ч. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: Б.М. Хрусталева [и др.]. – Минск, 2003. – Ч. 3. – С. 125.
12. Мажугин, Е.И. Исследование влияния магнитной обработки на седиментацию загрязнений в воде и моющем растворе Лабомид-203 / Е.И. Мажугин, А.Л. Казаков // Агропанорама. – 2006. – № 6 – С. 35–39.
13. Электромагнитный аппарат: патент 1951 Респ. Беларусь, МПК В 04С 9/00/ Е.И. Мажугин, А.Л. Казаков. – № и 20040451; заявл. 01.10.2004; опубл. 30.06.2005 // Официальный бюллетень патентов на изобретения, полезные модели и промышленные знаки. – 2005. – № 2. – С. 275.
14. Матвеев, Н.М. Методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений: учеб. пособие для вузов / Н.М. Матвеев. – 4-е изд. – Минск: «Вышэйшая школа», 1974. – 766 с.
15. Товстоухатко, В.М. Магнитные пылеуловители / В.М. Товстоухатко. – Киев-Донецк: Вища школа, 1985. – 112 с.

УДК 004/656.1

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 26.11.2008

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПОСТАВОК СЖИЖЕННОГО ГАЗА СЕЛЬСКИМ ПОТРЕБИТЕЛЯМ

Б.М. Астрахан, канд. техн. наук, доцент, П.В. Клавсуть, ст. препод., А.А. Вабищевич, студентка, М.Э. Ельцов, студент (УО БГАТУ); В.В. Бондарь, директор (РУ «Столбцырайгаз»)

Аннотация

Рассмотрена методика оптимизации маршрутов поставок баллонов со сжиженным газом посредством применения информационных технологий на базе пакета программ математического моделирования MATLAB. За критерий оптимизации принят суммарный пробег автотранспорта, представленного спецавтомобилями одного типа. Применение указанной методики по сравнению с традиционными методами планирования позволило снизить суммарный пробег на 15,1%.

Введение

Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь предусматривает мероприятия по энергосбережению ресурсов во всех сферах народного хозяйства. Эта концепция утверждена Указом Пре-

зидента Республики Беларусь №575 от 15. 11. 2007 г. [1, 2]. Для проведения указанных мероприятий целесообразно применение современных информационных технологий, в частности, на базе пакета программ математического моделирования MATLAB [3].