

TÁBIYIY HÁM TEXNIKALÍQ ILIMLER

Fizika. Matematika. Texnika. Informatika

ОБ ОДНОМ СВОЙСТВЕ МНОЖЕСТВА ПЕРИОДИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ВТОРОГО ПОРЯДКА С ИМПУЛЬСНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

К.К.Елгондиев - кандидат физико-математических наук, доцент

К.Б.Казакбаева - магистрант

Каракалпакский государственный университет имени Бердаха

Таянч сўзлар: дифференциал тенгламалар, импульс таъсирлар, характеристик илдизлар, даврий ечимлар, даврий ечимлар тўплами.

Ключевые слова: дифференциальные уравнения, импульсные воздействия, характеристические корни, периодические решения, множества периодических решений.

Key words: differential equation, impulse actions, characteristic roots, periodic solutions, sets of periodic solutions.

Рассмотрим линейное дифференциальное уравнение второго порядка с импульсным воздействием

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + a \frac{dx}{dt} + b x = 0, \quad t \neq \tau_p, \quad (1)$$

$$\Delta \dot{x}|_{t=\tau_p} = \Delta \frac{dx(t)}{dt} \Big|_{t=\tau_p} = \frac{dx(\tau_p + 0)}{dt} - \frac{dx(\tau_p - 0)}{dt} = I_p, \quad (2)$$

где $I_p \neq 0$, $p \in \mathbb{Z}$, — некоторые действительные постоянные.

В работах [2] рассмотрены задачи построения решений уравнения (1), удовлетворяющие условию воздействия (2), получены необходимые и достаточные условия существования периодических решений.

Результаты, полученные в работах [1,2], можно обобщить следующим образом. Будем рассматривать моменты и величины импульсного воздействия как фиксированные, но при этом эти величины будут рассматриваться как величины, от которых зависит решение рассматриваемой задачи (1), (2), т.е. значения величин и моментов импульсного воздействия рассматриваются в качестве параметров.

Обозначим при помощи $S(T_\tau)$ множество всех решений дифференциального уравнения (1) с импульсным воздействием вида (2) в фиксированные моменты времени из множества $T_\tau = \{\tau_k, k \in \mathbb{Z}\}$, элементы которого удовлетворяют следующему условию:

А: $\tau_{k+1} > \tau_k$ для всех $k \in \mathbb{Z}$, при этом $\tau_k \rightarrow +\infty$, когда $k \rightarrow +\infty$ и $\tau_k \rightarrow -\infty$, когда $k \rightarrow -\infty$.

Очевидно, что общее решение задачи (1), (2) зависит от двух постоянных величин и может быть представлено в виде суммы функций $u(t)$ и $z(t)$, где $u(t)$ — общее решение линейного дифференциального уравнения (1), а $z(t)$ — частное решение задачи (1), (2), которое в некоторый начальный момент времени t_0 удовлетворяет нулевым начальным условиям $z(t_0) = \dot{z}(t_0) = 0$. Кроме того, функция $u(t) \in C^{(\infty)}(R)$, а функция $z(t) \in C(R) \cap C^{(\infty)}(R \setminus T_\tau)$. Решение задачи Коши с начальными данными $x(t_0) = x_0$, $\dot{x}(t_0) = \dot{x}_0$ для (1), (2) существует, является единственным и определено для всех $t \in R$.

Если рассматриваемая система подвергается действию импульсных сил лишь конечное число раз, то асимптотическое (при $t \rightarrow \infty$) поведение траектории системы (1), (2) определяется корнями характеристического уравнения $\lambda^2 + a\lambda + b = 0$ и для достаточно больших $t \in R$ всякое решение $x(t)$ задачи (1), (2) совпадает с некоторым частным решением уравнения (1), т.е. асимптотическое (при $t \rightarrow \infty$) поведение траекто-

рии динамической системы (1), (2) в этом случае не зависит от условий импульсного воздействия (2), а определяется лишь типом особой точки уравнения (1).

Совсем другой является ситуация, когда рассматриваемая динамическая система испытывает действие импульсных сил бесконечное число раз, т.е. когда, например, $I_k \neq 0$ для всех $k \in \mathbb{Z}$. Тогда независимо от типа особой точки (0,0) дифференциального уравнения (1) существуют наборы величин $\{I_k : I_k \in R \setminus \{0\}, k \in \mathbb{Z}\}$ такие, что задача (1), (2) среди своих решений может иметь (в зависимости лишь от значения величин $\{I_k, \tau_k : k \in \mathbb{Z}\}$;) периодические с некоторым периодом $T > 0$ решения, т.е. задача (1), (2) может иметь такие решения, асимптотическое поведение которых при $t \rightarrow +\infty$ не соответствует типу особой точки уравнения (1). Указанные свойства решений задачи (1), (2) могут вызываться наличием соответствующих видов условий импульсного воздействия и исчезать при отступлении таких условий.

Как показана в [1], если $x(t) \in C(R) \cap C^{(\infty)}(R \setminus T_\tau)$ — периодическое с некоторым периодом T решение задачи (1), (2), то существует натуральное число m такое, что для всех целых p выполняются условия периодичности

$$I_{p+m} = I_p, \quad t_{p+m} = t_p + T \quad (3)$$

Пусть λ_1, λ_2 — решения характеристических корней (1), а величины $\tau_p, p \in \mathbb{Z}$, заданы (фиксированы). Будем рассматривать следующие случаи:

случай I: $\operatorname{Re} \lambda_1 \cdot \operatorname{Re} \lambda_2 \neq 0$;

случай II: $\lambda_1 = -\lambda_2 = i\omega$, где $\omega > 0$ и $\omega T \notin N(\bmod 2\pi)$;

случай III: $\lambda_1 \cdot \lambda_2 = 0$ и

$$\sum_{p=1}^m I_p = 0; \quad (4)$$

случай IV: $\lambda_1 = -\lambda_2 = i\omega$, где $\omega > 0$, $\omega T \in N(\bmod 2\pi)$; а величины и моменты импульсного воздействия $I_p, \tau_p, p \in \mathbb{Z}$, удовлетворяют условиям

$$\sum_{p=1}^m I_p \cos \omega \tau_p = 0, \quad \sum_{p=1}^m I_p \sin \omega \tau_p = 0 \quad (5)$$

Если задан некоторый набор значений величин импульсного воздействия и выполняются условия периодичности (3) то, задача (1), (2) для данного набор величин $\{I_p, \tau_p : p \in \mathbb{Z}\}$ может иметь:

а) единственное T -периодическое решение (случай I или II);

б) однопараметрическое семейство T – периодических решений (случай III);

с) двухпараметрическое семейство T – периодических решений (случай IV).

Если при указанных условиях задача (1), (2) имеет периодическое решение, то это решение линейным образом зависит от величин $x_0, \dot{x}_0, I_1, I_2, \dots, I_m$ которые связаны между собою системой двух линейных (соответствующих каждому из указанных выше случаев) соотношений, которые являются следствием явных формул для решения задачи (1), (2) и определения периодического решения.

Обозначим для удобства $P(T_r)$ множество всех периодических решений уравнения (1) с импульсным воздействием вида (2) в фиксированные моменты времени из множества T_r для случая, когда величины $\{I_k : I_k \in R \setminus \{0\}, k \in Z\}$ могут принимать различные значения, при условии, что эти величины и моменты импульсного воздействия удовлетворяют условиям периодичности (3).

Справедливо следующее утверждение.

Теорема 1. Пусть:

1. задано некоторое множество действительных чисел $T_r = \{\tau_k : k \in Z\}$, для элементов которого выполняется условие A;

2. величины и моменты импульсного воздействия удовлетворяют условиям периодичности (3).

Тогда все периодические решения задачи (1), (2) образуют m -параметрическое относительно набора параметров $x_0, \dot{x}_0, I_1, I_2, \dots, I_m$, множество $P(T_r)$, причем, если λ_1, λ_2 – характеристические корни уравнения (1), то:

1. число $m \geq 1$ для случая, когда $\text{Re } \lambda_1 \cdot \text{Re } \lambda_2 \neq 0$ или когда $\lambda_1 = -\lambda_2 = i\omega$, где $\omega > 0$ и $\omega T \notin N(\text{mod } 2\pi)$;

2. число $m \geq 2$ для случая $\lambda_1 \cdot \lambda_2 = 0$;

3. число $m \geq 3$ для случая $\lambda_1 = -\lambda_2 = i\omega$, где $\omega > 0$ и $\omega T \in N(\text{mod } 2\pi)$.

Доказательство.

Обозначим через $x = x(t, t_0, x_0, \dot{x}_0, \{t_m\}, \{I_m\})$ периодическое решение задачи (1), (2). При выполнении условия теоремы явный вид этого решения получается из формул

$$x(t) = \begin{cases} x_0(t) + \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \sum_{t_0 < t_p \leq t} I_p [e^{\lambda_1(t-t_p)} - e^{\lambda_2(t-t_p)}], & t \geq t_0^*; \\ x_0(t) - \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \sum_{t \leq t_p < t_0^*} I_p [e^{\lambda_1(t-t_p)} - e^{\lambda_2(t-t_p)}], & t \leq t_0^*, \end{cases} \quad (6)$$

$$\text{где } x_0(t) = \frac{\lambda_2 x_0 - \dot{x}_0}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{\lambda_1(t-t_0^*)} - \frac{\lambda_1 x_0 - \dot{x}_0}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{\lambda_2(t-t_0^*)},$$

(случай, когда характеристические корни λ_1, λ_2 для уравнения (1) действительные и различные, т.е. $\lambda_1, \lambda_2 \in R^1, \lambda_1 \neq \lambda_2$);

$$x(t) = \begin{cases} x_0(t) + \sum_{t_0 < t_p \leq t} I_p (t-t_p) e^{\lambda(t-t_p)}, & t \geq t_0^*; \\ x_0(t) - \sum_{-t \leq t_p < t_0^*} I_p (t-t_p) e^{\lambda(t-t_p)}, & t \leq t_0^*, \end{cases} \quad (7)$$

$$\text{где } x_0(t) = [x_0 + (t-t_0^*)(\dot{x}_0 - \lambda x_0)] e^{\lambda(t-t_0^*)},$$

(случай, когда характеристические корни λ_1, λ_2 уравнения (1) действительные и кратные, т.е. $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda \in R^1$);

$$x(t) = \begin{cases} x_0(t) + \frac{1}{\omega} \sum_{t_0 < t_p \leq t} I_p \sin \omega(t-t_p) e^{\alpha(t-t_p)}, & t \geq t_0^*; \\ x_0(t) - \frac{1}{\omega} \sum_{-t \leq t_p < t_0^*} I_p \sin \omega(t-t_p) e^{\alpha(t-t_p)}, & t \leq t_0^*, \end{cases} \quad (8)$$

$$\text{где } x_0(t) = e^{\alpha(t-t_0^*)} \left[x_0 \cos \omega(t-t_0^*) + \frac{\dot{x}_0 - \alpha x_0}{\omega} \sin \omega(t-t_0^*) \right],$$

(случай, когда характеристические корни λ_1, λ_2 уравнения (1) комплексные и различные, т.е. $\lambda_1 = \bar{\lambda}_2 = \alpha + i\omega, \alpha, \omega \in R^1, \alpha \neq 0, \omega > 0$).

Наконец, в случае, когда характеристические корни уравнения (1) являются чисто мнимыми ($\alpha = 0$), что соответствует уравнению гармонических колебаний, решение задачи Коши (1), (2),

$$x(t) = \begin{cases} x_0(t) + \frac{1}{\omega} \sum_{t_0 < t_p \leq t} I_p \sin \omega(t-t_p), & t \geq t_0^*; \\ x_0(t) - \frac{1}{\omega} \sum_{-t \leq t_p < t_0^*} I_p \sin \omega(t-t_p), & t \leq t_0^*, \end{cases} \quad (9)$$

$$\text{где } x_0(t) = x_0 \cos \omega(t-t_0^*) - \frac{1}{\omega} \dot{x}_0 \sin \omega(t-t_0^*).$$

Для таких решений параметры $x_0, \dot{x}_0, I_1, I_2, \dots, I_m$ связаны между собой системой двух линейных алгебраических уравнений вида

$$\begin{cases} (\lambda_2 x_0 - \dot{x}_0)(1 - e^{\lambda_1 T}) = e^{\lambda_1 T} e^{\lambda_1 t_0^*} \sum_{p=1}^m I_p e^{-\lambda_1 t_p}, \\ (\lambda_1 x_0 - \dot{x}_0)(1 - e^{\lambda_2 T}) = e^{\lambda_2 T} e^{\lambda_2 t_0^*} \sum_{p=1}^m I_p e^{-\lambda_2 t_p}. \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{cases} (\dot{x}_0 - \lambda x_0)(1 - e^{\lambda T}) = \sum_{p=1}^m I_p e^{-\lambda t_p} e^{\lambda(T+t_0^*)}, \\ (x_0 - t_0(\dot{x}_0 - \lambda x_0))(1 - e^{\lambda T}) = \left[-\sum_{p=1}^m I_p t_p e^{-\lambda t_p} + \right. \\ \left. + T \left((\dot{x}_0 - \lambda x_0) e^{-\lambda t_0^*} + \sum_{p=1}^m I_p e^{-\lambda t_p} \right) \right] e^{\lambda(T+t_0^*)}. \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases} \left[\cos \omega t_0^* - e^{\alpha T} \cos \omega(T-t_0^*) \right] x_0 - \frac{\dot{x}_0 - \alpha x_0}{\omega} (\sin \omega t_0^* - \\ - e^{\alpha T} \cos \omega(T-t_0^*)) = \frac{1}{\omega} \sum_{p=1}^m I_p e^{-\alpha t_p} e^{\alpha(t_0^*+T)} \sin \omega(T-t_p), \\ \left[\sin \omega t_0^* - e^{\alpha T} \sin \omega(T-t_0^*) \right] x_0 - \frac{\dot{x}_0 - \alpha x_0}{\omega} (\cos \omega t_0^* - \\ - e^{\alpha T} \cos \omega(T-t_0^*)) = \frac{1}{\omega} \sum_{p=1}^m I_p e^{-\alpha t_p} e^{\alpha(t_0^*+T)} \cos \omega(T-t_p). \end{cases} \quad (12)$$

Решая эти системы уравнений относительно двух параметров из $x_0, \dot{x}_0, I_1, I_2, \dots, I_m$ получаем соотношения, выражающие зависимость найденных двух параметров от остальных m параметров. Подставляя найденные выражения в $x = x(t, t_0, x_0, \dot{x}_0, \{t_m\}, \{I_m\})$

получаем решение задачи (1), (2), зависящей от m параметров.

Различным значениям этих параметров соответствуют различные периодические решения задачи (1), (2), следовательно мы имеем параметрическое семейство периодических решений. Множество таких решений обозначим через $P(T_r)$.

При $\operatorname{Re} \lambda_1 \cdot \operatorname{Re} \lambda_2 \neq 0$ и $\lambda_1 = -\lambda_2 = i\omega$, $\omega > 0$, $\omega T \notin N(\bmod 2\pi)$, параметры $x_0, \dot{x}_0, I_1, I_2, \dots, I_m$ удовлетворяют одному из систем линейных уравнений (10), (11), (12). В этом случае, из условия единственности решения соответствующей системы алгебраических уравнений следует, что $m \geq 1$.

При $\operatorname{Re} \lambda_1 \cdot \operatorname{Re} \lambda_2 = 0$ параметры $x_0, \dot{x}_0, I_1, I_2, \dots, I_m$ связаны соотношением (10). В этом случае в силу того, что $I_p \neq 0$, $p=1, 2, \dots, m$ следует, что $m \geq 2$.

Если $\lambda_1 = -\lambda_2 = i\omega$, $\omega > 0$ и $\omega T \in N(\bmod 2\pi)$, то из условия разрешимости системы (11) следует, что $m \geq 3$. Теорема доказана.

Теорема 2. Если $\phi(t) \in P(T_r)$ – некоторое периодическое решение задачи (1), (2), то существует такое отличное от $\phi(t)$ решение $x^*(t) \in S(T_r)$ уравнения (1) с импульсным воздействием (2), что $\lim_{t \rightarrow +\infty} [\phi(t) - x^*(t)] = 0$.

Доказательство. Для доказательства теоремы достаточно показать существования таких величин импульсного воздействия $I_1^*, I_2^*, \dots, I_m^*$, что разность между решением $x^*(t) \in S(T_r)$ и периодическим решением $\phi(t) \in P(T_r)$ будет сколь угодно малой при $t \rightarrow \infty$.

Покажем это для случая $\lambda_1, \lambda_2 \in \mathbb{R}$, $\lambda_1 < 0$, $\lambda_2 < 0$, $\lambda_1 \neq \lambda_2$. Остальные случаи характеристических корней уравнения (1) доказывается аналогично. Периодическое решение задачи (1), (2) для $t > t_0$ согласно (6) имеет вид

$$\phi(t) = \frac{\lambda_2 x_0 - \dot{x}_0}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{\lambda_1(t-t_0)} - \frac{\lambda_1 x_0 - \dot{x}_0}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{\lambda_2(t-t_0)} + \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \sum_{t_0 < t_p \leq t} I_p [e^{\lambda_1(t-t_p)} - e^{\lambda_2(t-t_p)}],$$

где x_0 и $\dot{x}_0$ удовлетворяют системе (9), а t_p, I_p , $p \in N$ удовлетворяют условиям периодичности (3).

Решение $x^*(t) \in S(T_r)$ для $t > t_0$ представим в виде

$$x^*(t) = \frac{\lambda_2 x_1 - \dot{x}_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{\lambda_1(t-t_0)} - \frac{\lambda_1 x_1 - \dot{x}_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{\lambda_2(t-t_0)} + \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \sum_{t_0 < t_p \leq t} I_p^* [e^{\lambda_1(t-t_p)} - e^{\lambda_2(t-t_p)}],$$

где x_0 и $\dot{x}_0$ – начальные данные для решения $x^*(t)$. Следовательно,

$$\phi(t) - x^*(t) = \frac{\lambda_2(x_0 - x_1) - (\dot{x}_0 - \dot{x}_1)}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{\lambda_1(t-t_0)} - \frac{\lambda_1(x_0 - x_1) - (\dot{x}_0 - \dot{x}_1)}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{\lambda_2(t-t_0)} + \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \sum_{t_0 < t_p \leq t} (I_p - I_p^*) [e^{\lambda_1(t-t_p)} - e^{\lambda_2(t-t_p)}].$$

Выберем $t_p = t_0 + p\delta$, $p=1, 2, \dots$, где δ – некоторое положительное число, при этом, условия (3) будут выполнены, если $T = m\delta$, где m – некоторое натуральное число.

Если $t_m \leq t < t_{m+1}$, то $t - t_p = t - t_m + (m-p)\delta$, $p=1, 2, \dots, m$ и, следовательно, $e^{\lambda_j(t-t_p)} = e^{\lambda_j(m-p)\delta} e^{\lambda_j(t-t_m)}$, $j=1, 2$, причем $0 < e^{\lambda_j\delta} \leq e^{\lambda_j(t-t_m)} \leq 1$, $j=1, 2$. Тогда

$$\sum_{p=1}^m (I_p - I_0^*) [e^{\lambda_1(t-t_m)} e^{\lambda_1(m-p)\delta} - e^{\lambda_2(t-t_m)} e^{\lambda_2(m-p)\delta}] = \sum_{p=1}^m [e^{\lambda_1(t-t_m)} ((I_p - I_0^*) e^{\lambda_1(m-p)\delta}) - e^{\lambda_2(t-t_m)} ((I_p - I_0^*) e^{\lambda_2(m-p)\delta})].$$

Рассмотрим сумму $\sum_{p=1}^m (I_p - I_0^*) e^{\lambda_j(m-p)\delta}$, $j=1, 2$. Если,

например, $I_p - I_0^* = Iq^p$, где $Iq \in \mathbb{R}^1$, $|q| < 1$, $q \neq e^{\lambda_j\delta}$, $j=1, 2$, то получим:

$$\sum_{p=1}^m (I_p - I_0^*) e^{\lambda_j(m-p)\delta} = I \sum_{p=1}^m q^p (e^{\lambda_j\delta})^{(m-p)} = Iq \frac{e^{\lambda_j\delta m} - q^m}{e^{\lambda_j\delta} - q}, \quad j=1, 2$$

Таким образом

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |\phi(t) - x^*(t)| = Iq \lim_{t, m \rightarrow \infty} \left[\frac{e^{\lambda_1\delta m} - q^m}{e^{\lambda_1\delta} - q} e^{\lambda_1(t-t_m)} - \frac{e^{\lambda_2\delta m} - q^m}{e^{\lambda_2\delta} - q} e^{\lambda_2(t-t_m)} \right] = 0.$$

Теорема доказана.

Согласно условию 2 теоремы 1 величины импульсного воздействия $I_1, I_2, \dots, I_m$ могут принимать различные (кроме нулевых) постоянные значения. Теорема 1 определяет минимальное количество нетривиальных импульсных воздействий за период, при которых динамическая система (1), (2) для заданного типа особой точки дифференциального уравнения (1) имеет периодические режимы. Если, некоторые из величин $I_1, I_2, \dots, I_m$ предположить равными нулю, например, $I_{n+1} = I_{n+2} = \dots = I_m = 0$ где $1 \leq n < m$ и при этом число n нетривиальных импульсных воздействий $I_k \neq 0$, $k=1, 2, \dots, n$ за период T удовлетворяет одному из соответствующих неравенств п.1-3 теоремы 1, связанных с рассматриваемым типом особой точки дифференциального уравнения (1), то формулы для периодических решений, которые соответствуют набору величин $I_1, I_2, \dots, I_n$, можно получить с помощью естественной редукции по величинам $I_{n+1}, I_{n+2}, \dots, I_m$ из формул для решений, соответствующих импульсным воздействиям $I_1, I_2, \dots, I_m$.

Литература

1. Samoilenko A.M., Perestyuk N.A. Impulsive differential equations. World Scientific Series on Non-linear Sciences. Ser.A.V14.- Singapore: World Scientific. 1995. –P.462.
2. Samoylenko V.Hr., Yelgondyev K.K. On existense of periodikal solutions for differential equations with impulsive effects// Jorn.

Facta Universitatis/ Series: Mechanics, automatic control and robotics, 1998, №2(2). –P. 635-639.

3. Samoylenko V.Hr., Yelgondyev K.K. Periodical solutions to differential equations with impulsive effects. // Abstracts of International Conference “Dynamical systems: Stability, Control, Optimization”. -Minsk, Belarus: 1998. V.2. P.37-38.

РЕЗЮМЕ

Фиксирланган вақт моментларида импульс табиатли таъсирга эга иккинчи тартибли чизикли дифференциал тенгламалар ечимларининг хоссалари кўриб чиқилди. Масаланинг ечимлари m -параметрик ечимлар синфини ташкил этадиган шартлари келтирилган.

РЕЗЮМЕ

Рассмотрена задача о свойствах решения линейных дифференциальных уравнений второго порядка с импульсным воздействием в фиксированные моменты времени. Указаны условия при выполнении которых полученные решения составляет m -параметрическое семейство периодических решений, а также приведены условия устойчивости периодических решений.

SUMMARY

The problem of the properties of the solution of linear differential equations of the second order with impulsive action at fixed times is considered. The solutions of the problem are the conditions that make up the class of m -parametric solutions.

УЎТ.631.331.

САБЗАВОТ УРУҒЛАРИНИ ЭКИШГА ТАЙЁРЛАНГАН ДАЛА ТУПРОҒИНИНГ ФИЗИК-МЕХАНИК ХОССАЛАРИНИ ЎРГАНИШ

А.Э.Эшдавлатов – таянч докторант

Қишлоқ хўжалигини механизациялаш илмий-тадқиқот институти

Н.М.Хамидов – таянч докторант

Тошкент давлат аграр университети Нукус филиали

Таянч сўзлар: тупроқнинг физик-механик хоссалари, тупроқнинг табиий қиялик бурчаги, ишчи орган, конструкция, омиллар, сабзавот, уруғ экиш, тупроқ қатламлари, агротехник талаблар.

Ключевые слова: физико-механические свойства почвы, угол естественного откоса почвы, рабочий орган, конструкция, факторы, овощ, посев семян, слой почвы, агротехнические требования.

Key words: physical and mechanical properties of soil, angle of repose, working body, construction, factors, vegetable, sowing seeds, soil layer, agro technical requirements.

Ўзбекистон мустақиллигининг дастлабки йилларидан бошлаб сабзавотчилик тармоғини ривожлантиришга алоҳида эътибор қаратилиб келинмоқда ва бунда янги ва интенсив технологияларни жорий этишни таъминлайдиган техника воситаларини ишлаб чиқиш ва амалиётга татбиқ этиш муҳим масалалардан ҳисобланади.

Ушбу масалалар бўйича тадқиқотлар олиб боришда ва ишлаб чиқаришда кенг фойдаланилиб келинаётган мавжуд техника воситаларини такомиллаштириш учун ишлов бериладиган дала тупроғининг физик-механик хоссаларини ўрганиш ҳамда мавжуд асбоб-ускуналар ёрдамида тўғри ва сифатли тадқиқотлар олиб бориш катта аҳамиятга эга ҳисобланади.

Тупроқнинг физик-механик хоссалари (намлиги, қаттиқлиги ва зичлиги) қишлоқ хўжалиги машиналарининг ишчи органлари конструкциясини ишлаб чиқишда, уларнинг тури ва параметрларини асослашда белгилловчи омиллардан бири ҳисобланади [1,2].

Бу кўрсаткичларни аниқлаш бўйича тадқиқотлар ҚХМИТИ тажриба хўжалигининг бўз тупроқли майдонларида эрта баҳорда сабзавот уруғини экиш даврида ГОСТ 20915-2011 асосида ўтказилди [3].

Тупроқнинг намлигини аниқлашда, 0-5, 5-10, 10-15 ва 15-20 см қатламдан бур ёрдамида намуналар олинди. Олинган намуналар яхшилаб аралаштирилиб, улардан 30-40 г тупроқ махсус алюминий стакан(бюкс)ларга солинди ва қопқоқ билан маҳкамлаб ёпилди. Тупроқ билан тўлдирилган бюкслар массаси $\pm 0,01$ гр аниқликда ўлчайдиган МН-390 русумли электрон тарозида ўлчанди ҳамда рақамланган бюксларнинг массалари дала дафтарига ёзилди. Массаси ўлчанган бюксларнинг қопқоғи очиқ ҳолда, 105°C иссиқликни таъминлайдиган термостатли махсус печкада 8 соат қуритилди. Қуритилган тупроқ намуналари солинган бюкслар совитилди ёпиқ ҳолда ва яна тарозида ўлчанди. Олинган натижалар асосида қуйидаги формулада тупроқ намлиги (W_a) фоизда аниқланади [2]

$$W_a = \frac{100(m_1 - m_2)}{m_2}, \% \quad (1)$$

бунда m_1 , m_2 – мос равишда нам ва қуруқ тупроқ массалари.

Тупроқнинг зичлигини аниқлашда ҳам $601,4 \text{ см}^3$ га тенг бўлган кесувчи цилиндр ёрдамида 0-5, 5-10, 10-15 ва 15-20 см тупроқ қатламларидан намуналар олинди ва цилиндрдаги қуруқ тупроқ массасини унинг ҳажмига нисбати бўйича тупроқ зичлиги аниқланди

$$\rho = \frac{b}{V} \quad (2)$$

бунда b – қуруқ тупроқнинг абсолют массаси, г;

V – намуна олинган цилиндр ҳажми, см^3 .

Тупроқнинг қаттиқлигини аниқлашда ВИСХОМда ишлаб чиқарилган қаттиқлик ўлчагичда тупроқнинг 0-5, 5-10, 10-15 ва 15-20 см қатламларидаги қаттиқликларни аниқланди.

Тажрибадан олдин қаттиқлик ўлчагич тарировка қилинди ва тарировкалаш коэффициенти аниқланди.

Тупроққа қаттиқлигини ўлчаши асосининг диаметри 11,3 мм ва ўткирланиш бурчаги $22^{\circ}30'$, бўлган конуссимон учликдан фойдаланилади.

Тупроқ қаттиқлиги (P) қуйидаги формула бўйича аниқланди

$$P = \frac{H_{cp} q}{S} \quad (3)$$

бунда H_{cp} – қаттиқлик диаграмма ординатасининг ўртача қиймати, см;

q – пружина бикрлиги, Н/см;

S – учлик юзасининг майдони, см^2 .

Ўртача ордината диаграммаси планиметр билан ҳисоблаш қуйидаги формулада аниқланди

$$H_{cp} = \frac{F}{L} \quad (4)$$

бунда F – диаграмма майдони, см^2 (планиметр ёрдамида аниқланди);

L – диаграмма узунлиги, см.

Тажрибалардан олинган натижалар бўйича тупроқнинг намлиги, қаттиқлиги ва зичлиги қийматлари қуйидаги 1-жадвалда келтирилган.