Adding inertial forces to the load q, according to the d'Alembert principle, and substituting (8) and (9) in (10) we get

$$D\left(1-R^*\right)\frac{\partial^4 w}{\partial x^4}+\frac{B}{R_1^2}\left(1-R^*\right)w+\frac{4bh^3}{3R_1^2}\left(1-R^*\right)\left\{2\left[\left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)^2\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+w\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right)^2+2w\frac{\partial w}{\partial x}\frac{\partial^3 w}{\partial x^3}\right]+\right.$$
$$\left.+\frac{12}{5}R_1^2h^2\left[2\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\left(\frac{\partial^3 w}{\partial x^3}\right)^2+\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right)^2\frac{\partial^4 w}{\partial x^4}\right]+w^2\frac{\partial^4 w}{\partial x^4}\right\}+ \tag{11}$$
$$+\frac{3bh}{R_1^4}\left(1-R^*\right)\left[w^3+\frac{4}{9}R_1^2h^2w\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right)^2\right]+m\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}=q\left(x,t\right).$$

The effect of a concentrated mass on viscoelastic shell is inertial in nature and is accounted in the equation of motion (11) with the Dirac δ-function [22]:

$$m(x)=\rho h+\sum_{p=1}^{I}M_p\delta(x-x_p)$$

where ρ is the density of the shell material.

Thus, the problem of axisymmetric oscillations of viscoelastic cylindrical shells in a physically nonlinear statement is reduced to a system of partial integro-differential equations of the form (11) with appropriate initial and boundary conditions.

Most of dynamic problems of viscoelastic thin-walled structures [17] after applying the Bubnov-Galerkin method are reduced to solving non-decay systems of integro-differential equations of the following form:

$$\sum_{n=1}^{N}(c_{kn}\ddot{w}_n+\omega_{kn}^2w_n)=Z_k\left(t,w_1,...,w_N,\int_0^t\psi_k\left(t,\tau,w_1,...,w_N\right)d\tau\right),$$
$$w_n(0)=w_{0n},\ \dot{w}_n(0)=\dot{w}_{0n},\ n=1,2,...,N, \tag{12}$$

where $w_n=w_n(t)$ are the unknown time functions;

Z_k, ψ_k are the continuous functions in the domain of change of arguments;

c_{kn}, ω^2_{kn} are the given constant numbers.

Many nonlinear dynamic problems of viscoelasticity are reduced to system (12), in particular, problems of oscillations and dynamic stability of viscoelastic structures such as rods, beams and cylindrical shells bearing a concentrated mass.

Integrating system (12) twice over t, it is reduced to integral form. Assuming then that $t=t_i$, $t_i=i\Delta t$, $i=1, 2, \ldots$ (Δt = const is the interpolation step) and replacing the integrals with quadrature formulas to calculate $w_{in}=w_{in}(t_i)$, we obtain the following system:

$$\sum_{n=1}^{N}c_{kn}w_{in}=\sum_{n=1}^{N}c_{kn}(w_{0n}+\dot{w}_{0n}t_i)+\sum_{j=0}^{p-1}A_j(t_p-t_j)\times$$
$$\times\left\{Z_k\left(t_j,w_{j1},...,w_{jN},B_s\psi_{1k}\sum_{s=0}^{j}(t_j,t_s,w_{s1},...,w_{sN})\right)-\sum_{n=1}^{N}\omega_{kn}^2w_{jn}\right\}. \tag{13}$$

The next step in numerical method is the regularization of a system of nonlinear integro-differential equations (13) with the singular Koltunov-Rzhanitsyn kernel [2]

$$\Gamma(t)=Ae^{-\beta t}\cdot t^{\alpha-1},\quad A>0,\quad \beta>0,\quad 0<\alpha<1.$$

Using change of variables

$$\frac{t}{\omega}-\frac{\tau}{\omega}=z^{\frac{1}{\alpha}},\ 0\le z\le\left(\frac{t}{\omega}\right)^{\alpha},\ \left(0<\alpha<1\right)$$

the integral at the Koltunov-Rzhanitsyn kernel with a singularity of the following form

$$A\int_0^{\frac{t}{\omega}}\left(\frac{t}{\omega}-\frac{\tau}{\omega}\right)^{\alpha-1}e^{-\beta\left(\frac{t}{\omega}-\frac{\tau}{\omega}\right)}w(\tau)d\tau$$

has the form

$$\frac{A}{\alpha}\int_0^{\left(\frac{t}{\omega}\right)^{\alpha}}e^{-\beta z^{\frac{1}{\alpha}}}w\left(\frac{t}{\omega}-z^{\frac{1}{\alpha}}\right)dz.$$

Note that after the change of variables, the integrand with respect to *z* becomes regular. To numerically solve the system (13), we apply the method of direct replacement of integrals entering the system with a certain sum using some quadrature formula, in particular, using the trapezium formula

$$\frac{A}{\alpha}\sum_{k=0}^{i}B_k e^{-\beta t_k}w_{i-k},$$

where the coefficients are:

$$B_0=\frac{1}{2}\left(\frac{\Delta t}{\omega}\right)^{\alpha};\quad B_i=\frac{1}{2}\left(\frac{\Delta t}{\omega}\right)^{\alpha}(i^{\alpha}-(i-1)^{\alpha});$$

$$B_k=\frac{1}{2}\left(\frac{\Delta t}{\omega}\right)^{\alpha}((k+1)^{\alpha}-(k-1)^{\alpha}),\quad k=\overline{1,i-1}.$$

Thus, due to twice integration of initial system (12) over time *t* and the use of the quadrature formula, system (13) is obtained to find the deflections $w_{in}=w_{in}(t_i)$. Solution (13) is found by the Gauss method.

3. Results and Discussion

Solution of equation (11) at initial conditions

$$w=\gamma(x),\ \frac{\partial w(x,0)}{\partial t}=0 \tag{14}$$

is sought in the following form [23, 24]

$$w(x,t)=\sum_{n=1}^{N}w_n(t)\psi_n(x), \tag{15}$$

where $\psi_n(x)$ are the known coordinate functions that satisfy all the boundary conditions of the shell.

Substituting (15) into (11) and performing the procedure of the Bubnov-Galerkin method, we obtain

$$\begin{gathered}\sum_{n=1}^{N}a_{kn}\ddot{w}_n+D\left(1-R^*\right)\sum_{n=1}^{N}b_{kn}w_n+2B\left(1-R^*\right)\sum_{n,i,r=1}^{N}c_{knir}w_n w_i w_r=q_k,\\ w_n(0)=w_{0n},\quad \dot{w}_n(0)=\dot{w}_{0n},\end{gathered} \tag{16}$$

where $a_{kn}=\int_0^a\left(\rho h+\sum_{p=1}^{I}M_p\delta\left(x-x_p\right)\right)\psi_n\psi_k dx,\quad b_{kn}=\int_0^a\left(\psi_{n,xxxx}^{IV}+2\psi_{n,xxyy}^{IV}+\psi_{n,yyyy}^{IV}\right)\psi_k dx.$

$$c_{knir} = \int_0^a \Big(6\psi''_{n,xx}\psi'''_{i,xxx}\psi'''_{r,xxx} + 3\psi''_{n,xx}\psi''_{i,xx}\psi^{IV}_{r,xxxx} + 3\psi'''_{n,xxx}\psi'''_{i,xxx}\psi''_{r,xx} +$$

$$+\psi'''_{n,xxy}\psi'''_{i,xxy}\psi''_{r,yy} + \psi''_{n,xx}\psi'''_{i,yyy}\psi'''_{r,xxy} + \psi''_{n,xx}\psi''_{i,yy}\psi^{IV}_{r,xxyy} + 6\psi''_{n,xy}\psi'''_{i,xyy}\psi'''_{r,xxy} +$$

$$+3\psi''_{n,xy}\psi''_{i,xy}\psi^{IV}_{r,xxyy} \Big)\psi_k dx, \quad q_k = \int_0^a q\psi_k dx.$$

Integrating the system of resolving equations (16) twice over t, we can write it in integral form. Then, assuming that $t = t_i$, $t_i = i\Delta t$, $i = 1, 2, \ldots$ (Δt is the integration step) and replacing the integrals with the quadrature formulas of the trapezium to compute the unknowns $w_{in} = w_{in}(t_i)$, we obtain the following recurrence formula

$$\sum_{n=1}^{N} a_{kn} w_{pn} = \sum_{n=1}^{N} a_{kn}\left(w_{0n} + \dot{w}_{pn} t_p\right) - \sum_{q=0}^{p-1} A_q\left(t_p - t_q\right)\left\{ D\sum_{n=1}^{N} b_{kn}\left(w_{qn} - \frac{A}{\alpha}\sum_{z=0}^{q} B_z e^{-\beta t_z} w_{q-z,n}\right) + \right.$$

$$\left. + 2B\sum_{n,i,r=1}^{N} c_{knir}\left(w_{qn}w_{qi}w_{qr} - \frac{A}{\alpha}\sum_{z=0}^{q} B_z e^{-\beta t_z} w_{q-z,n}w_{q-z,i}w_{q-z,r}\right) - q_k \right\}; \tag{17}$$

$$w_n(0) = w_{0n}, \; \dot{w}_n(0) = \dot{w}_{0n},$$

where A_q, B_z are the numerical coefficients that do not depend on the choice of integrands and take on different values depending on the quadrature formulas used.

The dependence obtained makes it possible to study the axisymmetric oscillations of viscoelastic cylindrical shells carrying a concentrated mass with account for physical nonlinearity.

4. Conclusions

In the first part of this study in physically nonlinear and geometrically linear statements the following aspects were stated:

1. A boundary-value problem was formulated for the dynamic calculation of a cylindrical shell carrying concentrated masses based on the cubic theory of viscoelasticity.

2. Using the Bubnov-Galerkin method, the main resolving equations were obtained in the form of a system of non-decay integro-differential equations of the problem for dynamic calculation of a cylindrical shell carrying concentrated masses.

3. A method for solving the obtained systems of non-decay integro-differential equations based on the quadrature formula was proposed.

In the second part of the study, numerical results of the stress-strain state of a cylindrical shell with concentrated masses will be presented in physically nonlinear and geometrically linear statements.

References

1. Rabotnov, Yu. N. Elements of hereditary solid mechanics. Moscow: Mir Publishers, 1980. 387 p.
2. Mal'tsev, L.E. The analytical determination of the Rzhanitsyn-Koltunov nucleus. Mechanics of Composite Materials. 1979. No. 1(15). Pp. 131–133.
3. Lurie, A.I. Nonlinear Theory of Elasticity. United Kingdom: Elsevier Science & Technology, 1990. 632 p.
4. Kauderer, H. Nichtlineare Mechanik. Springer-Verlag. Berlin, 1958. 684 p.
5. Ilyushin, A.A. Plastichnost. Osnovy obshchey matematicheskoy teorii [Plasticity. Foundations of general mathematical theory]. Moscow: Lenand, 2016. 272 p. (rus)
6. Zhong, Z., Liu, A., Pi, Y.L., Deng, J., Lu, H., Li, S. Analytical and experimental studies on dynamic instability of simply supported rectangular plates with arbitrary concentrated masses. Engineering Structures. 2019. Vol. 196. 109288. DOI: 10.1016/j.engstruct.2019.109288.
7. Amabili, M. Geometrically nonlinear vibrations of rectangular plates carrying a concentrated mass. Journal of Sound and Vibration. 2010. Vol. 329. Is. 21. Pp. 4501–4514. DOI: 10.1016/j.jsv.2010.04.024.
8. Sukhoterin, M.V., Baryshnikov, S.O., Knysh, T.P., Abdikarimov, R.A. Natural oscillations of a rectangular plates with two adjacent edges clamped. Magazine of Civil Engineering. 2018. 82(6). Pp. 81–94. DOI: 10.18720/MCE.82.8.
9. Semenov, A.A. Dynamic buckling of stiffened orthotropic shell structures. Magazine of Civil Engineering. 2018. 82(6). Pp. 3–11. DOI: 10.18720/MCE.82.1.
10. Marchuk, A.V., Gnedash, S.V., Levkovskii, S.A. Free and forced oscillations of thick-walled anisotropic cylindrical shells. International Applied Mechanics. 2017. 53(20. Pp. 181–195. DOI: 10.1007/s10778-017-0804-8.

11. Solomonov, Yu.S., Bagdasar'yan, A.A., Georgievskii, V.P. Free oscillations of a composite structurally orthotropic cylindrical shell stiffened by discretely positioned ring ribs. Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2018. Vol. 47. Is. 2. Pp. 137–141. DOI: 10.3103/S1052618818020127.
12. Leizerovich, G.S., Seregin, S.V. Free oscillations of circular cylindrical shells with a small added concentrated mass. Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. 2016. Vol. 57. Is. 5. Pp. 841–846. DOI: 10.1134/S0021894416050102.
13. Amabili, M. Nonlinear Mechanics of Shells and Plates in Composite, Soft and Biological Materials. United Kingdom: Cambridge University Press, 2018. 586 p.
14. Chepurnenko, A.S. Calculation of three-layer shallow shells taking into account nonlinear creep. Magazine of Civil Engineering. 2017. 76(8). Pp. 156–168. DOI: 10.18720/MCE.76.14.
15. Rutman, J., Ulitin, V. Limit Dependences in Stability Calculations with Account for Physical Nonlinearity. Journal of Mechanics. 2017. 33(2). Pp. 157–160. DOI: 10.1017/jmech.2016.72.
16. Badalov, F., Eshmatov, Kh., Yusupov, M. On certain methods of solving systems of integrodifferential equations encountered in viscoelasticity problems. Journal Applied Mathematics and Mechanics. 51(5). Pp. 683–686. DOI: 10.1016/0021-8928(87)90025-6.
17. Abdikarimov, R.A., Khodzhaev, D.A. Computer modeling of tasks in dynamics of viscoelastic thin-walled elements in structures of variable thickness. Magazine of Civil Engineering. 2014. 49(5). Pp. 83–94. DOI: 10.5862/MCE.49.9. (rus)
18. Mirsaidov, M.M., Abdikarimov, R.A., Vatin, N.I., Zhgutov, V.M., Khodzhaev, D.A., Normuminov, B.A. Nonlinear parametric oscillations of viscoelastic plate of variable thickness. Magazine of Civil Engineering. 2018. 82(6). Pp. 112–126. DOI: 10.18720/MCE.82.11
19. Abdikarimov, R., Khodzhaev, D., Vatin, N. To Calculation of Rectangular Plates on Periodic Oscillations. MATEC Web of Conferences. 2018. 245. 01003. DOI: 10.1051/matecconf/201824501003
20. Khodzhaev, D.A., Abdikarimov, R.A., Vatin, N.I. Nonlinear oscillations of a viscoelastic cylindrical panel with a concentrated mass. MATEC Web of Conferences. 2018. 245. 01001. DOI: 10.1051/matecconf/201824501001
21. Abdikarimov, R.A., Zhgoutov, V.M. Mathematic models of nonlinear dynamics problems of viscoelastic orthotropic plates and shells of variable thickness. Magazine of Civil Engineering. 2010. 16(6). Pp. 38–47. DOI: 10.18720/MCE.16.3. (rus).
22. Amba-Rao, C.L. On the vibration of a rectangular plate carrying a concentrated mass. Journal Applied Mechanics. 1964. 31(3). Pp. 550–551. DOI: 10.1115/1.3629680.
23. Koltunov, M.A., Mirsaidov, M., Troyanovsky, I.E. Transient vibrations of axissymmetric viscoelastic shells. Polymer Mechanics. 1978. 14(2). Pp. 233–238. DOI: 10.1007/BF00857468
24. Mirsaidov, M., Troyanovsky, I.E. Forced axisymmetric oscillations of a viscoelastic cylindrical shell. Polymer Mechanics. 1975. 11(6). Pp. 953–955. DOI: 10.1007/BF00857626

Contacts:

Dadakhan Khodzhaev, +7(99871)2370981; dhodjaev@mail.ru
Rustamkhan Abdikarimov, +7(99890)9284554; rabdikarimov@mail.ru
Mirziyod Mirsaidov, +7(987)2370981; theormir@mail.ru

© Khodzhaev, D.A., Abdikarimov, R.A., Mirsaidov, M.M., 2019

Инженерно-строительный журнал

ISSN 2071-0305

сайт журнала: http://engstroy.spbstu.ru/

DOI: 10.18720/MCE.91.4

Динамика физически нелинейной вязкоупругой цилиндрической оболочки с сосредоточенными массами

Д.А. Ходжаев[a], Р.А. Абдикаримов[b]*, М.М. Мирсаидов[a]

[a] *Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, г.Ташкент, Узбекистан*

[b] *Ташкентский финансовый институт, г.Ташкент, Узбекистан*

* *E–mail: rabdikarimov@mail.ru*

Ключевые слова: тонкостенные конструкции, цилиндрическая оболочка, вязкоупругость, физическая нелинейность, сосредоточенные массы, осесимметричные колебания, нелинейное интегро-дифференциальное уравнение, ядро релаксации, метод Бубнова-Галёркина, численный метод

Аннотация. Известно, что наиболее разработанной частью теории упругости является теория линейных и нелинейных упругих пластин и оболочек. В этой области получены все необходимые уравнения и разработаны методы их решения. В то же время, в области учета вязкоупругих свойств материала в задачах по динамическим расчетам тонкостенных конструкций имеются пробелы. Отметим, что в некоторых работах вязкоупругие свойства материала, т.е. отклонение диаграммы испытаний материала от закона Гука учитывались по модели Фойхта, не подтверждающиеся экспериментами. Не учет вязкоупругих свойств материала существенно ограничивает практическую применимость результатов. В первой части работы рассматриваются постановка и метод решения задачи об осесимметричных колебаниях физически нелинейной вязкоупругой цилиндрической оболочки с сосредоточенными массами. Функция, характеризующая меру отклонения кривой интенсивности напряжений от прямой Гука, принята в виде кубической нелинейности. Построена математическая модель, предложен метод решения и разработан вычислительный алгоритм задачи об осесимметричных колебаниях цилиндрической оболочки, несущей сосредоточенные массы, с учетом физически нелинейного деформирования материала при различных граничных условиях в рамках гипотезы Кирхгофа-Лява. Эффект действия сосредоточенных масс вводится с использованием дельта-функции Дирака. С помощью метода Бубнова-Галёркина, основанного на многочленной аппроксимации прогибов, рассматриваемая задача сводится к решению, в общем случае, не распадающихся систем нелинейных интегро-дифференциальных уравнений типа Вольтерры. Для решения полученной системы, при слабо-сингулярном ядре Колтунова-Ржаницына, применен численный метод, основанный на использовании квадратурных формул. Разработан единый вычислительный алгоритм для нахождения прогиба вязкоупругой цилиндрической оболочки с сосредоточенными массами.

Литература

1. Работнов Ю. Н. Элементы наследственной механики твёрдых тел. М.: Наука, 1977. 384 с.
2. Mal'tsev L.E. The analytical determination of the Rzhanitsyn-Koltunov nucleus // Mechanics of Composite Materials. 1979. № 1(15). Pp. 131–133.
3. Лурье А.И. Нелинейная теория упругости. М.: Наука, 1980. 512 с.
4. Kauderer H. Nichtlineare Mechanik. Springer-Verlag. Berlin, 1958. 684 p.
5. Ильюшин А.А. Пластичность. Основы общей математической теории. М.: Ленанд, 2016. 272 с.
6. Zhong Z., Liu A., Pi Y.L., Deng J., Lu H., Li S. Analytical and experimental studies on dynamic instability of simply supported rectangular plates with arbitrary concentrated masses // Engineering Structures. 2019. № 196. 109288. doi: 10.1016/j.engstruct.2019.109288
7. Amabili M. Geometrically nonlinear vibrations of rectangular plates carrying a concentrated mass // Journal of Sound and Vibration. 2010. № 21(329). Pp.4501–4514. doi: 10.1016/j.jsv.2010.04.024
8. Сухотерин М.В., Барышников С.О., Кныш Т.П., Абдикаримов Р.А. Собственные колебания прямоугольной пластины, защемленной по двум смежным краям // Инженерно-строительный журнал. 2018. № 6(82). С.81–94. doi: 10.18720/MCE.82.8
9. Семенов А.А. Динамическая устойчивость подкрепленных ортотропных оболочечных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2018. № 6(82). С. 3–11. doi: 10.18720/MCE.82.1
10. Marchuk A.V., Gnedash S.V., Levkovskii S.A. Free and forced vibrations of thick-walled anisotropic cylindrical shells // International Applied Mechanics. 2017. № 2(53). Pp. 181–195. doi: 10.1007/s10778-017-0804-8

11. Solomonov Yu.S., Bagdasar'yan A.A., Georgievskii V.P. Free oscillations of a composite structurally orthotropic cylindrical shell stiffened by discretely positioned ring ribs // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2018. № 2(47). Pp. 137–141. doi: 10.3103/S1052618818020127
12. Leizerovich G.S., Seregin S.V. Free vibrations of circular cylindrical shells with a small added concentrated mass // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. 2016. № 5(57). Pp. 841–846. doi: 10.1134/S0021894416050102
13. Amabili M. Nonlinear Mechanics of Shells and Plates in Composite, Soft and Biological Materials. United Kingdom: Cambridge University Press, 2018. 586 p.
14. Чепурненко А.С. Расчет трехслойных пологих оболочек с учетом нелинейной ползучести // Инженерно-строительный журнал. 2017. № 8(76). С. 156–168. doi: 10.18720/MCE.76.14.
15. Rutman J., Ulitin V. Limit Dependences in Stability Calculations with Account for Physical Nonlinearity // Journal of Mechanics. 2017. № 2(33). Pp. 157–160. doi: 10.1017/jmech.2016.72
16. Бадалов Ф.Б., Эшматов Х., Юсупов М. О некоторых методах решения систем интегро-дифференциальных уравнений, встречающихся в задачах вязкоупругости // Прикладная математика и механика. 1987. № 5(51). С. 867–871.
17. Абдикаримов Р.А., Ходжаев Д.А. Компьютерное моделирование задач динамики вязкоупругих тонкостенных элементов конструкций переменной толщины // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 5(49). С. 83–94. doi: 10.5862/MCE.49.9.
18. Мирсаидов М.М., Абдикаримов Р.А., Ватин Н.И., Жгутов В.М., Ходжаев Д.А., Нормуминов Б.А. Нелинейные параметрические колебания вязкоупругой пластинки переменной толщины // Инженерно-строительный журнал. 2018. № 6(82). С. 112–126. doi: 10.18720/MCE.82.11
19. Abdikarimov R., Khodzhaev D., Vatin N. To Calculation of Rectangular Plates on Periodic Oscillations // MATEC Web of Conferences. 2018. № 245. 01003. doi: 10.1051/matecconf/201824501003
20. Khodzhaev D.A., Abdikarimov R.A., Vatin N.I. Nonlinear oscillations of a viscoelastic cylindrical panel with a concentrated mass. MATEC Web of Conferences. 2018. № 245. 01001. doi: 10.1051/matecconf/201824501001
21. Абдикаримов Р.А., Жгутов В.М. Математические модели задач нелинейной динамики вязкоупругих ортотропных пластин и оболочек переменной толщины // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 6(16). С. 38–47. doi: 10.18720/MCE.16.3.
22. Amba-Rao C.L. On the vibration of a rectangular plate carrying a concentrated mass // J. Appl. Mech. 1964. № 3(31). Pp. 550–551. doi: 10.1115/1.3629680.
23. Koltunov M.A., Mirsaidov M., Troyanovskii I.E. Transient vibrations of axissymmetric viscoelastic shells // Polymer Mechanics. 1978. № 2(14). Pp. 233–238. doi: 10.1007/BF00857468
24. Mirsaidov M., Troyanovskii I.E. Forced axisymmetric oscillations of a viscoelastic cylindrical shell // Polymer Mechanics. 1975. № 6(11). Pp. 953–955. doi: 10.1007/BF00857626

Контактные данные:

Дадахан Акмарханович Ходжаев, +7(99871)2370981; dhodjaev@mail.ru
Рустамхан Алимханович Абдикаримов, +7(99890)9284554; rabdikarimov@mail.ru
Мирзиед Мирсаидович Мирсаидов, +7(987)2370981; theormir@mail.ru

© Ходжаев Д.А.,Абдикаримов Р.А.,Мирсаидов М.М., 2019