

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԵՎ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И

НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
АРМЕНИИ

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԵՐԵՎԱՆ

ЕРЕВАН

Журнал издается с 5.01.1948 г.
Выходит 4 раза в год

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻԱ

Ռ.Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ (գլխավոր խմբագիր), Հ.Ա. ԹԵՐԶՅԱՆ (գլխ. խմբ. տեղակալ),
Զ.Կ. ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ (պատասխանատու քարտուղար), Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ,
Ռ.Վ. ԱԹՈՅԱՆ, Վ.Վ. ԲՈՒՆԻԱՏՅԱՆ, Ժ.Դ. ԴԱՎԻԴՅԱՆ, Ս.Պ. ԴԱՎԹՅԱՆ,
Ս.Մ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Ո.Զ. ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ, ՅՈՒ.Լ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Վ.Ս. ՍԱՐԿՍՅԱՆ,
Ս.Հ. ՍԻՄՈՆՅԱՆ, Ս.Գ. ՍՏԱԿՅԱՆ, Վ.Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Р.М. МАРТИРОСЯН (главный редактор), А.А. ТЕРЗЯН (зам. глав. редактора),
З.К. СТЕПАНИЯН (ответственный секретарь), С.Г. АГБАЛЯН,
Р.В. АТОЯН, В.В. БУНИАТЯН, Ж.Д. ДАВИДЯН, С.П. ДАВТЯН, С.М. КАЗАРЯН,
В.З. МАРУХЯН, Ю.Л. САРКИСЯН, В.С. САРКИСЯН,
С.О. СИМОНЯН, М.Г. СТАКЯН, В.С. ХАЧАТРЯН

EDITORIAL BOARD

R.M. MARTIROSSYAN (Editor-in-Chief), H.A. TERZIAN (Vice-Editor-in-Chief),
Z.K. STEPANYAN (Secretary - in - Chief), S.G. AGHBALYAN,
R.V. ATOYAN, V.V. BUNIATYAN, Zh.D. DAVIDYAN, S.P. DAVTYAN,
S.M. GHAZARYAN, V.Z. MARUKHYAN, YU.L. SARGSYAN, V.S. SARKISSYAN,
S.H. SIMONYAN, M.G. STAKYAN, V.S. KHACHATRYAN

Հրատ. խմբագիր՝

ԺԱՆՆԱ ՄԵՅՐԱՆՅԱՆ

Համակարգչային շարվածքը
և ձևավորումը՝

ԼԻԼԻԹ ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆԻ

Խմբագիր՝

ՆԵԼԼԻ ԱՆԱՆՅԱՆ

С.Д. КАЗАРЯН, С.А. САРГСЯН, М.Г. АРУТЮНЯН, В.А. АРАКЕЛЯН

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭКЗОСКЕЛЕТОНА-АССИСТЕНТА
ХОДЬБЫ И ПРИСЕДАНИЯ ЧЕЛОВЕКА**

Выполнено точное уравнивание экзоскелетона-ассистента ходьбы и приседания человека, применимого как для физиотерапии, так и для перманентного использования.

Ключевые слова: экзоскелетон, уравнивание, пружина, физиотерапия.

Введение. В работе представлено проектирование экзоскелетон-ассистентов ходьбы и приседания для пациентов с опорно-двигательными нарушениями, обеспечивающих снижение двигательных усилий пациента за счет пружинного статического уравнивания [1-5]. Используются линейные цилиндрические пружины растяжения и сжатия, развивающие большие усилия при их малых размерах и массах [1-5], что делает экзоскелетоны портативными и применимыми как для физиотерапии, так и для перманентного использования.

Описание задачи. Биомеханическая система тела человека и экзоскелетона имеет следующую структуру (рис. 1): с каждой стороны трехзвенный ортез связан со спиной и ногой (бедро и голень) человека и копирует движение тела в сагиттальной плоскости (тазобедренный сустав, имеющий три степени свободы, ограничен вращательной кинематической парой ортеза).

Обозначения на рисунках даны для элементов экзоскелетона только с одной стороны, другая сторона вследствие симметричности может быть представлена зеркально.

С добавлением механической передачи 5 с гибкой связью (рис. 2), например цепной, образуется связь между углами вращения звеньев 3 (голень) и 2 (бедро). Для обеспечения надежного сцепления и стабильности в процессе ходьбы или приседания звенья 3 (голень) и 4 (ступня) фиксируются друг относительно друга. С учетом связи между углами вращения звеньев 2 и 3 каждая из симметричных частей экзоскелетона является системой с одной степенью свободы: $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$, выполняющей движение в сагиттальной плоскости. Массы звеньев механизма передачи могут быть учтены введением коррекции в массы звеньев устройства.

Выполнение шага обеспечивается снабжением экзоскелетона саморегулируемым механизмом коленного шарнира (на рисунках не показано),

который производит разгибание коленного сустава и выброс голени вперед при ходьбе. При этом, благодаря нарушению статической уравновешенности системы, под действием гравитационных сил происходит перемещение звеньев вниз и обеспечивается процесс выполнения шага.

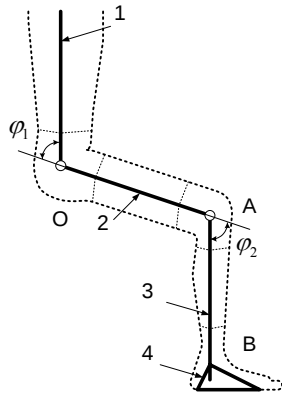


Рис.1. Схема двухподвижной системы человек-экзоскелет

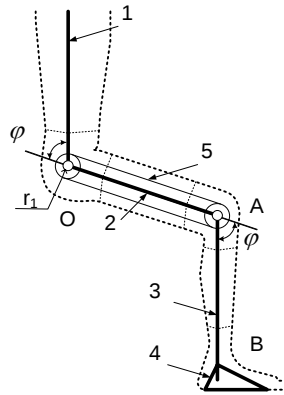


Рис.2. Схема одноподвижной системы человек-экзоскелет

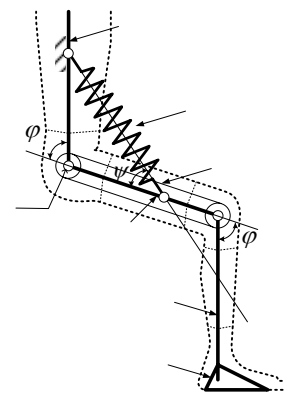


Рис.3. Схема уравновешенного экзоскелета для ходьбы

Статическое уравнивание системы при ходьбе. Для уравнивания биомеханической системы при ходьбе к звену 2 на расстоянии l_{OC} и к звену 1 на расстоянии l_{OD} от оси тазобедренного сустава присоединяется линейная цилиндрическая пружина 6 начальной длины l_{spl} (рис. 3). Жесткость пружины вычисляется из условия статического равновесия системы [3] - равенства нулю суммы моментов гравитационных сил и силы уравнивающей пружины относительно оси тазобедренного сустава (точки O).

Момент M_{gw} гравитационных сил звеньев относительно точки O определяется в виде

$$M_{gw} = \sum M_{gwi} . \quad (1)$$

После суммирования получим

$$M_{gw} = ((0,5m_2 + m_3 + m_4)l_2 + 0,5m_6l_{OC})g \sin \varphi , \quad (2)$$

где m_2 - масса бедра со звеном 2; l_2 - длина; φ - угол позиционирования звена 2 (обобщенная координата экзоскелетона); m_3 - масса голени со звеном 3; m_4 - масса ступни со звеном 4; m_6 - масса пружины 6.

Момент M_{bw1} силы уравнивающей пружины 6 будет

$$M_{bw1} = F_{SI} l_{OC} \sin \psi , \quad (3)$$

где F_{S1} - сила упругости уравновешивающей пружины 6, определяемая в виде

$$F_{S1} = F_{01} + k_1(l_{S1} - l_{01}) = k_1 l_{S1} + F_{01} - k_1 l_{01}; \quad (4)$$

k_1 - коэффициент жесткости; l_{01} и l_{S1} - начальное и текущее значения рабочей длины; F_{01} - начальная сила пружины 6.

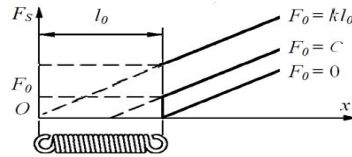


Рис.4. Характеристики цилиндрических пружин [6]: а- нулевой; б, в- ненулевой начальных длин

Из треугольника ODC (см. рис. 3) очевидно, что

$$\sin \psi = l_{OD} \sin \varphi / l_{S1}. \quad (5)$$

Если использовать пружину (рис.4) нулевой начальной длины вида $F_0 = k l_0$, то с учетом (4) и (5) уравнение (3) можно преобразовать в вид

$$M_{bw1} = k_1 l_{OC} l_{OD} \sin \varphi. \quad (6)$$

Неуравновешенность системы оценивается разностью моментов от гравитационных сил звеньев и уравновешивающей силы пружины:

$$M_{uw} = M_{gw} - M_{bw1}. \quad (7)$$

Или же, после подстановки (2) и (6) в уравнение (7) получим

$$M_{uw} = (((0,5m_2 + m_3 + m_4)l_2 + 0,5m_6 l_{OC})g - k_1 l_{OC} l_{OD}) \sin \varphi. \quad (8)$$

Приравняв нулю M_{uw} , с учетом зависимости массы цилиндрической пружины от ее жесткости [3] определяем значение коэффициента жесткости k уравновешивающей пружины из нелинейного уравнения

$$k_1 l_{OC} l_{OD} - \rho_{S1} \pi L_{W1} \sqrt{D_1^3 n_1 k_1 / 8 G_1 l_{OC} g - (m_2 / 2 + m_3 + m_4) l_2} = 0,$$

где D_1 - средний диаметр; n_1 - число витков; ρ_{S1} - плотность материала, G_1 - модуль сдвига; L_{W1} - длина проволоки пружины.

б)
в)

Численный пример 1. Уравновешивание биомеханической системы человек-экзоскелетон при ходьбе выполнено при следующих значениях ее параметров: масса пациента $m_1 = 60$ кг; $m_2 = 10$ кг; $m_3 = 4$ кг; $m_4 = 1,3$ кг; $l_2 = 0,4$ м; $l_{OC} = 0,3$ м; $l_{OD} = 0,15$ м; $l_{01} = 0,26$ м; $D_1 = 0,03$ м; $p_1 = D_1 \tan 15^\circ = 0,008$ м - шаг витков пружины; $n_1 = \text{round}[(l_{01}) / p_1] = 33$; $l_{W1} = \pi D_1 (2 + n_1 / \cos \gamma_1) = 3,3$ м; $\gamma_1 = \arctg(p_1 / (\pi D_1)) = 6,62^\circ$; $\rho_{S1} = 7800$ кг/м³; $G_1 = 81 \cdot 10^9$ Н/м².

Определяются значения $k_1 = 903$ Н/м, $F_{01} = 234,6$ Н, $m_6 = 0,18$ кг и диаметра d_1 проволоки пружины: $d_1 = \sqrt[4]{8 D_1^3 n_1 k_1 / G_1} = 0,003$ м.

Статическое уравнивание системы при приседании. Для уравнивания биомеханической системы при приседании к звену 1 экзоскелета на расстоянии l_F при помощи троса длиной l_T и ролика намотки троса 7 с переменным радиусом r_{2S} присоединяется линейная цилиндрическая пружина 8 начальной длины l_{sp2} (рис. 5).

Очевидно, что деформации, начальные и конечные состояния пружин 6 и 8 как при приседании, так и при ходьбе противоположны. Следовательно, после процесса вставания для обеспечения уравниваемости системы при ходьбе пружина 8 должна быть отключена от ролика 7; она может быть подключена только перед следующим процессом приседания.

Жесткость пружины 8 вычисляется из условия статического равновесия системы [3] - равенства нулю суммы моментов гравитационных сил и силы уравнивающей пружины относительно оси коленного сустава (точки А).

Момент M_{gs} гравитационных сил звеньев относительно точки А определяется в виде

$$M_{gs} = \sum M_{gsj} . \quad (9)$$

После суммирования получим

$$M_{gs} = ((0,5(m_1 + m_2) + m_6 + m_7 + m_8)l_2 - 0,5m_6l_{OC})g \sin \varphi , \quad (10)$$

где m_1 - масса торса (также головы и рук) со звеном 1; m_7 - масса ролика 7; m_8 - масса пружины 8.

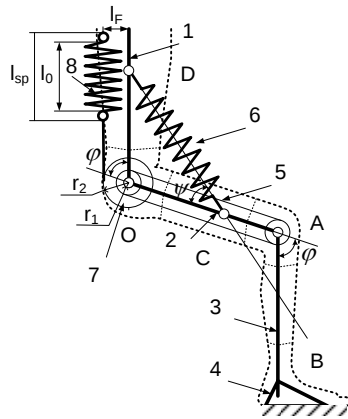


Рис.5. Схема уравнивающего экзоскелета для ходьбы и приседания

Момент M_{bs1} силы уравнивающей пружины 6 будет

$$M_{bs1} = k_1(l_2 - l_{OC})^2 l_{OD} l_{OC}^{-1} \sin \varphi . \quad (11)$$

Момент M_{bs2} силы уравнивающей пружины 8 будет

$$M_{bs2} = F_{S2} r_{2S} , \quad (12)$$

где F_{S2} - сила упругости уравнивающей пружины, определяемая в виде

$$F_{S2} = F_{02} + k_2(l_{S2} - l_{02}) = F_{02} + k_2 \Delta l_{S2} ; \quad (13)$$

k_2 - коэффициент жесткости; l_{02} и l_{S2} - начальное и текущее значения рабочей длины; Δl_{S2} - удлинение; F_{02} - начальная сила пружины 8.

Если использовать пружину ненулевой начальной длины вида $F_{02} = 0$, либо привести пружину к характеристике $F_{02} = m_8 g$ (см. рис.4) при учете собственного веса пружины, то с учетом (13) уравнение (12) можно преобразовать в вид

$$M_{bs2} = k_2 \Delta l_{s2} r_{2s}. \quad (14)$$

Проектируя профиль ролика намотки (рис. 6) таким образом, чтобы выполнялось условие

$$\Delta l_s r_{2s} = r_0^2 \sin \varphi,$$

где r_0 - начальное значение радиуса ролика, уравнение (14) можно преобразовать в вид

$$M_{bs2} = k_2 r_0^2 \sin \varphi. \quad (15)$$

Функция вида $r_{2s} = r_0 \cos 0,5\varphi$ удовлетворяет заданному выше условию:

$$\begin{aligned} \Delta l_s &= \int r_{2s} d\varphi = \int r_0 \cos 0,5\varphi d\varphi = 2r_0 \sin 0,5\varphi, \\ \Delta l_s r_{2s} &= 2r_0^2 \sin 0,5\varphi \cos 0,5\varphi = r_0^2 \sin \varphi. \end{aligned}$$

При изменении угла $\varphi \in [0^0; 120^0]$ радиус r_{2s} изменяется от r_0 до $0,5 r_0$. Следовательно, если присоединить неподвижный конец пружины к звену 1 экзоскелетона на удалении $l_F = 0,75 r_0$ от него и на уровне $(l_{sp2} + l_T)$, то угол α (см. рис. 6) между тросом пружины и вертикалью будет изменяться в интервале $\alpha \in [\pm \arctg(r_0 / 4(l_{sp2} + l_T)); 0]$.

Неуравновешенность системы оценивается разностью моментов от гравитационных сил звеньев и уравновешивающих сил пружин 6 и 8:

$$M_{us} = M_{gs} + M_{bs1} - M_{bs2}. \quad (16)$$

Или же, после подстановки (10), (11) и (15) в уравнение (16) получим

$$\begin{aligned} M_{us} &= (((0,5(m_1 + m_2) + m_6 + m_7 + m_8)l_2 - 0,5m_6 l_{oc})g + \\ &+ k_1(l_2 - l_{oc})^2 l_{od} l_{oc}^{-1} - k_2 r_0^2) \sin \varphi. \end{aligned} \quad (17)$$

Учитывая (8) и условие равенства нулю M_{uw} , уравнение (17) можно преобразовать в вид

$$\begin{aligned} M_{us} &= (((0,5(m_1 + m_2) + m_6 + m_7 + m_8)l_2 - 0,5m_6 l_{oc} + \\ &+ ((0,5m_2 + m_3 + m_4)l_2 + 0,5m_6 l_{oc})(l_2 - l_{oc})^2 l_{oc}^{-2})g - k_2 r_0^2) \sin \varphi. \end{aligned}$$

Приравнивая нулю M_{us} , с учетом зависимости массы цилиндрической пружины от ее жесткости [3] определяем значение коэффициента жесткости k_2 уравновешивающей пружины 8 из нелинейного уравнения

$$k_2 r_0^2 - \rho_2 \pi L_{w2} \sqrt{D_2^3 n_2 k_2 / 2 G_2 l_2} g - ((0,5(m_1 + m_2) + m_6 + m_7) l_2 - \\ - 0,5 m_6 l_{OC} + ((0,5 m_2 + m_3 + m_4) l_2 + 0,5 m_6 l_{OC})(l_2 - l_{OC})^2 l_{OC}^{-2}) g = 0,$$

где D_2 - средний диаметр; n_2 - число витков; ρ_2 - плотность материала; G_2 - модуль сдвига; L_{w2} - длина проволоки пружины 8.

Численный пример 2. Уравновешивание биомеханической системы человек-экзоскелетон при приседании выполнено при исходных данных примера 1 и следующих значениях ее остальных параметров: $m_1 = 39$ кг; $m_7 = 0,5$ кг; $r_0 = 0,08$ м; $D_2 = 0,04$ м; $l_F = 0,08$ м; $\Delta l_{Smax} = l_T = 2r_0 \sin \varphi_{max} / 2 = 0,138$ м; $l_{02} = 2,5 \Delta l_{Smax} = 0,35$ м; $l_{sp} = l_{02} + 2D_2 = 0,43$ м; $p_2 = D_2 \tan 20^\circ = 0,015$ м - шаг витков пружины 8; $n_2 = \text{round}[l_{02} / p_2] = 24$; $G_2 = 81 \times 10^9$ Н/м²; $\rho_{S2} = 7800$ кг/м³; $l_{w2} = \pi D_2 (2 + n_2 / \cos \gamma_2) = 3,3$ м, где $\gamma_2 = \arctg(p_2 / (\pi D_2)) = 6,62^\circ$, $\alpha \in \pm 2,03^\circ; 0^\circ$. Принимаем направление пружины вертикальным.

Определяются значения $k_2 = 16630$ Н/м, $m_8 = 1,01$ кг, $F_{02} = 9,9$ Н и диаметр проволоки пружины $d_2 = 0,003$ м.

Обеспечение приседания и вставания без значительных усилий. Если в проектируемом устройстве позволить торсу человека небольшую свободу движения относительно экзоскелетона, либо движениями рук или головы изменять положение центра тяжести тела в сагиттальной плоскости, то нарушится статическая уравновешенность системы и обеспечится приседание либо вставание человека без особых с его стороны усилий за счет увеличения/уменьшения момента гравитационных сил относительно коленных суставов.

Выводы. Статическое уравновешивание системы человек-экзоскелетон с любой степенью точности выполняется с использованием рычажной системы экзоскелетона, пружин, присоединенных к рычагам и гибкой связью к кулачковым роликам, что показано на примере умышленно упрощенной системы экзоскелетона с одной степенью подвижности. Экзоскелетон позволяет человеку с ограниченными двигательными способностями в повседневной жизни с легкостью ходить и совершать движения приседания и вставания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Arakelian V., Ghazaryan S.** Gravity balancing of the human leg taking into account the spring mass // Proceedings of the 9th International Conference on Climbing and Walking Robots (CLAWAR).- Brussels, Belgium, 12-14 September, 2006.- P. 630-635.
2. **Arakelian V., Ghazaryan S.** Improvement of balancing accuracy of robotic systems: Application to leg orthosis for rehabilitation devices // International Journal of Mechanism and Machine Theory.- Elsevier, 2008.- 43(5).- P. 565-575.
3. **Agrawal S., Fattah A.,** Theory and design of an orthotic device for full or partial gravity-balancing of a human leg during motion // IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering. - 2004. - Vol.12, No 2.-P.157-165.
4. **Agrawal A., Agrawal S. K.** Design of Gravity Balancing Leg Orthosis Using Non-Zero Free Length Springs [Text] // Mechanisms and Machine Theory.- 2005.- Vol. 40, issue 6.- P. 693-709.
5. **Fattah A., Agrawal S. K.** Prototype of a Gravity-Balanced Assist Device for Sit-to-stand Tasks [Text]// ASME Journal of Mechanical Design.- Sept, 2006.-Vol. 128.-P. 1122-1129.

ГИУА (П). Материал поступил в редакцию 02.04.2011.

**Ս.Ղ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Ս.Ա. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Մ.Գ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ,
Վ.Հ. ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ**

**ՄԱՐԴՈՒ ՔԱՅԼԵԼՈՒ ԵՎ ՆՍՏԵԼ-ԵԼՆԵԼՈՒ
ԱՍԻՍՏԵՆՏ-ԷԿՉՈՄԿԵԼԵՏՈՆԻ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄ**

Կատարվել է ինչպես ֆիզիոթերապիայում, այնպես էլ մշտական օգտագործման համար կիրառվող մարդու քայլելու և նստել-եղնելու ասիստենտ- էկզոսկելետոնի ճշգրիտ հավասարակշռում:

Առանցքային բառեր. էկզոսկելետոն, զսպանակ, հավասարակշռում, ֆիզիոթերապիա:

**S.D. GHAZARYAN, S.A. SARGSYAN, M.G. HARUTYUNYAN,
V.H. ARAKELYAN**

**THE DESIGN OF EXOSKELETON-ASSISTANT
OF HUMAN WALK AND SIT-TO-STAND**

The exact static balancing of exoskeleton-assistant of human walk and sit-to-stand applicable both for physiotherapy and permanent use is performed.

Keywords: exoskeleton, balancing, spring, physiotherapy.

Б.С. БАЛАСАНЯН, Д.Г. ЮРМУЗЯН

О ВОЗМОЖНОСТЯХ СНИЖЕНИЯ СУММАРНОЙ СИЛЫ РЕЗАНИЯ РЕЗЦОМ С МНОГОСТУПЕНЧАТЫМ ЛЕЗВИЕМ

Разработана методика определения характера изменения суммарной силы от глубины резания с учетом подачи. Получена математическая модель зависимости силы резания от подачи и глубины резания при малых ее значениях. Установлено, что применение резцов с тремя ступенями позволяет до 1,8...2,1 раза уменьшить общую нагруженность обрабатываемой системы.

Ключевые слова: экспериментальные исследования, математическая модель, сила резания, минимизация, обработка металлов, резец, многоступенчатое лезвие.

Введение. На основе многочисленных исследований процесса резания металлов лезвийным инструментом установлено, что зависимость силы от глубины резания носит в основном линейный характер. Такой характер отмечается обычно при глубинах резания $t > 1 \text{ мм}$. Исследованиями Н.Н. Зорева выявлено [1], что при резании различных металлов однолезвийным инструментом характер изменения силы резания от толщины срезаемого слоя меняется. С увеличением толщины срезаемого слоя до определенной величины a_1 сила резания практически меняется линейно, но в пределах некоторого интервала $[a_1, a_2]$ она растет более интенсивно, и начиная с некоторой точки a_2 практически происходит линейное увеличение силы резания.

Проведенные нами в аналогичных условиях экспериментальные исследования показали [2,3], что характер изменения силы в зависимости от глубины резания до ее определенной величины достаточно резко отличается от вида его дальнейшего изменения. Установлено, что с точки зрения снижения суммарной силы резания, именно от числа одновременно режущих ступеней лезвия резца и характера изменения силы от глубины резания зависит эффективность процесса резания металлов резцом с многоступенчатым лезвием. При этом наиболее существенное влияние на нее оказывает подача. В работе предпринята попытка установления возможностей снижения суммарной силы резания резцом с многоступенчатым лезвием на основе разработки способов управления характером зависимости силы от глубины резания и подачи.

Экспериментальные исследования. Для определения зависимости силы от глубины резания и выявления характера ее изменения в зависимости от подачи изготовлены конические образцы из инструментальной стали марки ХВГ с перепадом диаметров величиной 2 мм, что позволило в процессе их точения плавно изменять глубину резания до 1 мм. Экспериментальные исследования

проведены на токарно-винторезном станке мод. 16Б05А резцом, оснащенным пластинкой из твердого сплава марки ВК8 при средней скорости резания $V=1,5$ м/с для трех подач: $s=0,08$; $0,16$ и $0,24$ мм/об. Измерение и регистрация исследуемых параметров осуществлены посредством специально разработанного экспериментального стенда на основе устройств сбора и обработки данных National Instruments, которое позволило непрерывное получение информации о составляющих силы резания.

Методика исследования. На основе полученных осциллограмм изменения силы в зависимости от глубины резания (рис.1) для каждой из отмеченных подач методом наименьших квадратов были получены математические зависимости составляющей силы резания P_z от глубины резания в виде полинома 6-го порядка:

$$P_{z(p)}(t) = m_{6(p)}t^6 + m_{5(p)}t^5 + m_{4(p)}t^4 + m_{3(p)}t^3 + m_{2(p)}t^2 + m_{1(p)}t + m_{0(p)}, \quad (1)$$

где $m_{6(p)}$, $m_{5(p)}$, $m_{4(p)}$, $m_{3(p)}$, $m_{2(p)}$, $m_{1(p)}$, $m_{0(p)}$ - постоянные коэффициенты для конкретной подачи $S = p$ мм/об.

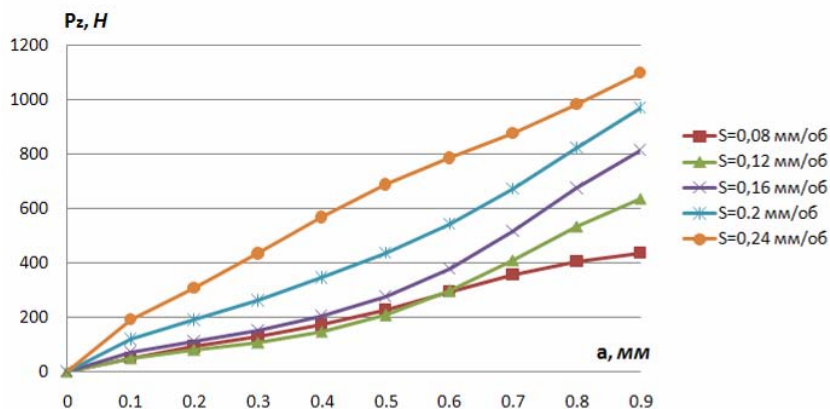


Рис.1. Графики зависимостей суммарной силы резания от глубины резания стали марки ХВГ

Для принятых величин подач $S=0,08$, $0,16$ и $0,24$ мм/об они могут представлены в виде

$$P_{z_{0,08}}(a) = m_{6(0,08)}t^6 + m_{5(0,08)}t^5 + m_{4(0,08)}t^4 + m_{3(0,08)}t^3 + m_{2(0,08)}t^2 + m_{1(0,08)}t + m_{0(0,08)}, \quad (2)$$

$$P_{z_{0,16}}(a) = m_{6(0,16)}t^6 + m_{5(0,16)}t^5 + m_{4(0,16)}t^4 + m_{3(0,16)}t^3 + m_{2(0,16)}t^2 + m_{1(0,16)}t + m_{0(0,16)}, \quad (3)$$

$$P_{z_{0,24}}(a) = m_{6(0,24)}t^6 + m_{5(0,24)}t^5 + m_{4(0,24)}t^4 + m_{3(0,24)}t^3 + m_{2(0,24)}t^2 + m_{1(0,24)}t + m_{0(0,24)}. \quad (4)$$

При обработке стали марки ХВГ они получены в виде полинома:

$$Pz_{0,08}(a) = 8905,22875887t^6 - 23286,19909703t^5 + 20616,20161004t^4 - 6711,35849301t^3 + 450,43409011t^2 + 506,5113129t - 0,1406829, \quad (2')$$

$$Pz_{0,16}(a) = -8130,29412054t^6 + 19074,92082394t^5 - 18860,49548853t^4 + 11612,47229617t^3 - 3837,84727026t^2 + 989,25699007t + 0,07797277, \quad (3')$$

$$Pz_{0,24}(a) = -35552,69609486t^6 + 104451,45367138t^5 - 116134,04512361t^4 + 60688,67489054t^3 - 15285,94273453t^2 + 2948,75974786t - 1,08045179. \quad (4')$$

Для возможности учета подачи в зависимости (1) примем, что коэффициенты $m_{6(p)}, m_{5(p)}, m_{4(p)}, m_{3(p)}, m_{2(p)}, m_{1(p)}, m_{0(p)}$ являются функцией от нее, для описания которых использована квадратичная функция с постоянными коэффициентами r_{2i}, r_{1i}, r_{0i} , которые также определены методом наименьших квадратов на основе известных коэффициентов $m_{6(p)}, m_{5(p)}, m_{4(p)}, m_{3(p)}, m_{2(p)}, m_{1(p)}, m_{0(p)}$.

Соответствующими расчетами установлено:

$$\begin{aligned} m_{6(s)} &= -811474,92928984S^2 - 18190,05296306S + 15553,87254337, \\ m_{5(s)} &= 3360579,13488047S^2 - 277024,99335919S - 22631,90609153, \\ m_{4(s)} &= -4515379,10441485S^2 + 590232,27132744S + 2296,0461721, \\ m_{3(s)} &= 2402529,04728047S^2 - 347559,08648256S + 5717,182523, \\ m_{2(s)} &= -559360,47686719S^2 + 80642,9974435S - 2421,09865342, \\ m_{1(s)} &= 115371,64692344S^2 - 21654,874297S + 1500,52271635, \\ m_{0(s)} &= -107,58439766S^2 + 28,55345206S - 1,73641898. \end{aligned}$$

С учетом этих коэффициентов из (1) установлено:

$$\begin{aligned} Pz(t, S) &= (-811474,92928984S^2 - 18190,05296306S + 15553,87254337)t^6 + \\ &+ (3360579,13488047S^2 - 277024,99335919S - 22631,90609153)t^5 + \\ &+ (-4515379,10441485S^2 + 590232,27132744S + 2296,0461721)t^4 + \\ &+ (2402529,04728047S^2 - 347559,08648256S + 5717,182523)t^3 + \\ &+ (-559360,47686719S^2 + 80642,9974435S - 2421,09865342)t^2 + \\ &+ (115371,64692344S^2 - 21654,874297S + 1500,52271635)t - \\ &- 107,58439766S^2 + 28,55345206S - 1,73641898. \end{aligned} \quad (5)$$

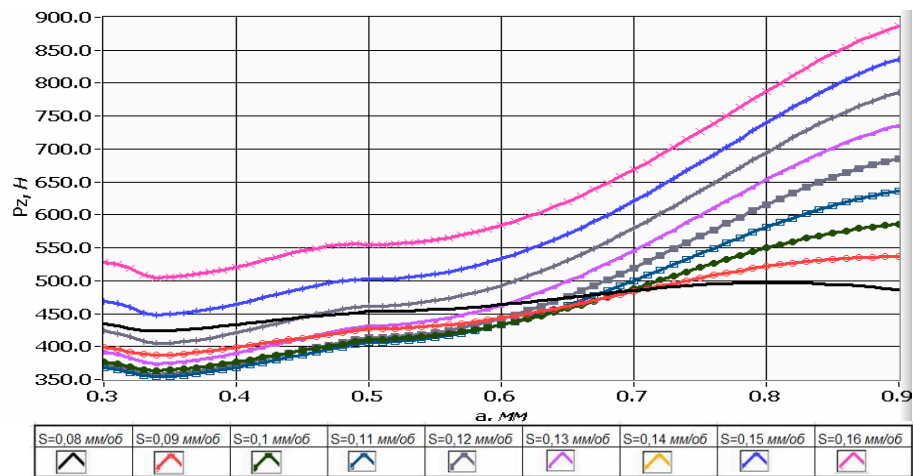


Рис. 2. График зависимости суммарной силы резания от глубины резания единичной ступени лезвия резца

Таким образом, можно заключить, что полученное выражение (5) может служить управляющей функцией для минимизации суммарной силы резания при обработке металлов резцов с многоступенчатым лезвием. На ее основе разработана программа в среде MS Excel и LabView и проведены виртуальные исследования изменения суммарной силы резания резцом с многоступенчатым лезвием. Проведен анализ влияния числа одновременно работающих лезвий и глубины резания единичного лезвия на суммарную силу резания. Посредством этих программ получены графики зависимостей суммарной силы резания от глубины резания единичной ступени резца (рис. 2) и числа одновременно режущих ступеней Z (рис.3).

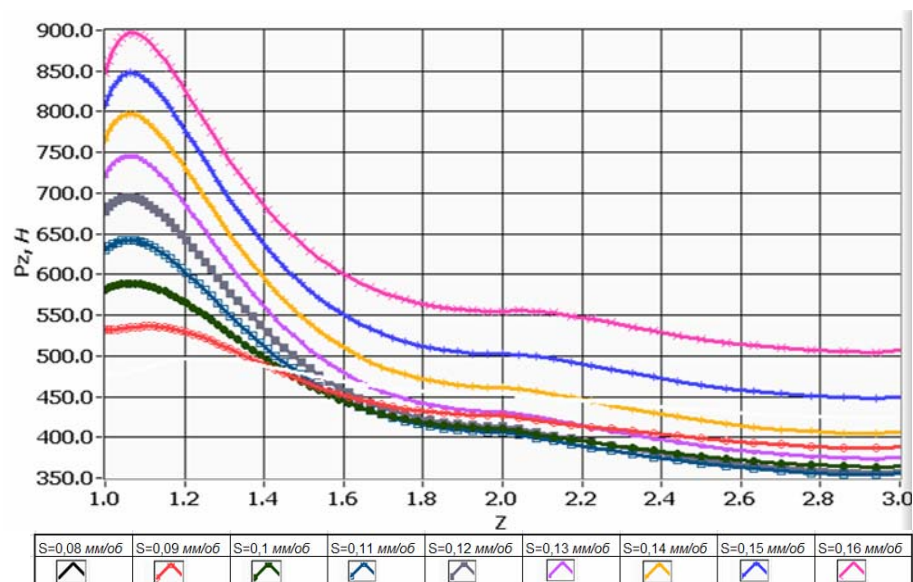


Рис. 3. График зависимости суммарной силы резания от числа одновременно режущих ступеней резца

Видно (рис. 2), что разработанная методика позволяет определить характер изменения силы резания в зависимости от глубины резания с учетом влияния на нее подачи. Анализ графиков зависимостей суммарной силы резания от числа одновременно режущих ступеней резца (рис. 3) показал, что вначале величина силы резания несколько повышается (в пределах 5...6%), затем резко снижается (в 1,8...2,1 раза). При этом снижение суммарной силы резания наиболее интенсивно – до 1,7 раза (до $Z=2$). С дальнейшим увеличением Z до $Z=3$ сила резания уменьшается на 10...15%.

Выводы. Разработана методика определения характера изменения суммарной силы от глубины резания с учетом подачи, получена математическая модель зависимости силы резания от подачи и глубины резания при малых ее значениях. В среде MS Excel и LabView разработана программа для определения суммарной силы резания резцом с многоступенчатым лезвием. Установлено, что применение резцов с тремя ступенями позволяет до 1,8...2,1 раза уменьшить общую нагруженность обрабатываемой ступени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Зорев Н.Н.** Вопросы механики процесса резания металлов. - М.: Машгиз, 1956.- 368 с.
2. **Юрмузян Д.Г., Гараян А.В., Палаян К.М.** Особенности зависимости силы резания от глубины резания // Международный сборник научных трудов научно-технической конференции “Технологии и техника автоматизация”.- Ереван, 2009.- С. 96 – 100.
3. О некоторых особенностях процесса резания многолезвийным резцом / **Б.С. Баласанян, С.Ш. Христафорян, Д.Г. Юрмузян и др.**// Международный сборник научных трудов научно-технической конференции “Технологии и техника автоматизации”. - Ереван, 2008. - С. 84 – 87 (на арм.).

ГИУА (П). Материал поступил в редакцию 05.03.2011.

Բ.Ս. ԲԱԼԱՍԱՆՅԱՆ, Դ.Գ. ՅՈՒՄՅԱՆ

ԲԱԶՄԱՍՏԻՃԱՆ ՄԱՅՐ ՈՒՆԵՑՈՂ ԿՏՐԻՉՈՎ ԳՈՒՄԱՐԱՅԻՆ ՈՒԺԻ ՆՎԱԶԵՑՄԱՆ ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՄԱՍԻՆ

Մշակվել է կտրման խորությունից կտրման գումարային ուժի փոփոխման բնույթի որոշման եղանակ՝ հաշվի առնելով մատուցումը: Ստացվել է մատուցումից և կտրման խորության փոքր արժեքներից կտրման ուժի կախվածության մաթեմատիկական մոդելը: Հաստատվել է, որ երեք աստիճանով կտրիչների կիրառումը թույլ է տալիս 1,8...2,1 անգամ նվազեցնել մշակող համակարգի բեռնվածությունը:

Առանցքային բառեր. փորձարարական հետազոտություններ, մաթեմատիկական մոդել, կտրման ուժ, նվազեցում, մետաղների մշակում, կտրիչ, բազմաստիճան սայր:

B.S. BALASANYAN, D.G. YURMUZYAN

ON POSSIBILITIES OF DECREASING TOTAL FORCE OF CUTTING BY THE CUTTER WITH A MULTISTEPPED BLADE

A method of defining total cutting force change character from the depth of cutting account feed is developed . The mathematical model of dependence of cutting force on the feed and depth of cutting at its small values is obtained. It is established that application of cutters with three steps allows to 1,8 ... 2,1 times to reduce the general stress loading of the processing system.

Keywords: experimental investigations, mathematical model, cutting force, minimization, metal processing, cutter, multisteppe blade.

Գ.Ս. ՀՈՎՍԵԹՅԱՆ, Կ.Գ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Կ.Ս. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Ն.Գ. ՀՈՎՍԵԹՅԱՆ,
Ս.Ո. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

ԴԻՖԴԵՐԵՆՑԻԱԿԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԸ ԵՎ ԴԻՖԴԵՐԵՆՑԻԱԿԱՆ ՇԵՐՏԻ ՍՏԱՅՈՒՄՆ ԱՐԱԳԱՀԱՏ ՊՈՂՊԱՏՆԵՐԻ ՎՐԱ

Տրված են ջերմաքիմիական մշակման ընթացքում դիֆուզիոն գործընթացը բնութագրող հավասարումներ, և պարզաբանված են տարրական ծավալում տեղի ունեցող նյութի տեղափոխման օրինաչափությունները: Մշակված է ռենիումից արագահատ պողպատների վրա մաշակայուն շերտի ստացման տեխնոլոգիա: Բերված են գիտափորձերի տվյալներ գործիքների մաշակայունության բարձրացման վերաբերյալ:

Առանցքային բառեր. դիֆուզիա, հավասարում, դիֆուզիայի գործակից, կոնցենտրացիա, հոսք, ռենիում, մետաղապատում:

Տեխնոլոգիական ցանկացած գործընթաց իրականացնելիս անհրաժեշտ է, որ այն համապատասխանի մի շարք չափանիշների և արդյունքում ապահովի տնտեսական արդյունավետություն: Նման հարցադրումը վերաբերում է նաև ջերմաքիմիական մշակմանը, որի իրականացման համար մշակվում են տարբեր տեխնոլոգիաներ, ստանում դիֆուզիոն մաշակայուն շերտեր, ապահովում շահագործողական բարձր ցուցանիշներ [1,2]:

Աշխատանքում խնդիր է դրվել ներկայացնել ջերմաքիմիական մշակման ժամանակ առաջացող դիֆուզիոն մաշակայուն շերտի ձևավորման գործընթացը, տալ դիֆուզիոն հավասարումները, կոնկրետ օրինակի վրա հետազոտել արագահատ P6M5 մակնիշի պողպատը ռենիումով մետաղապատելու և դիֆուզիոն շերտ ստանալու տեխնոլոգիական գործընթացը և այն հիմնավորել գիտափորձական հետազոտություններով:

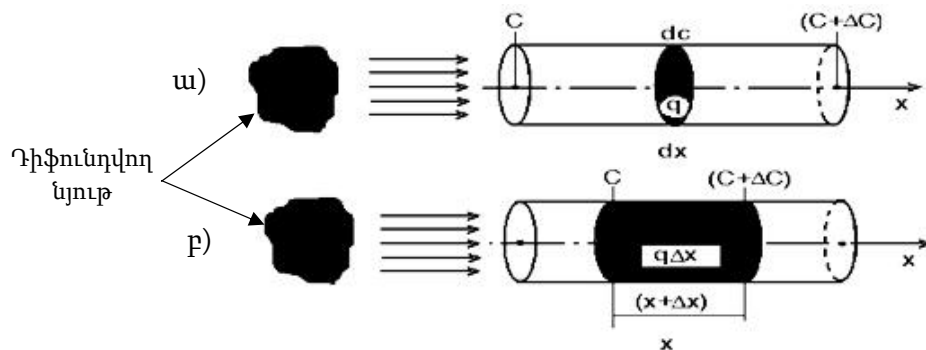
Ընտրենք գլան, որի լայնական կտրվածքը հաստատուն է և լցված է նյութով, որի կոնցենտրացիան x առանցքի ուղղությամբ հաստատուն չէ: Քանի որ լուծվող նյութը մեծ կոնցենտրացիա ունեցող տեղանքից դիֆուզվում է դեպի փոքր կոնցենտրացիա ունեցող տեղանք, ուստի տեղի է ունենում կոնցենտրացիաների հավասարակշռություն:

Ընտրված կտրվածքով անցնող նյութի քանակությունն ուղղահայաց է դիֆուզիայի ուղղությանը և համեմատական է այդ հատույթում կոնցենտրացիայի գրադիենտի արժեքին: Միավոր ժամանակում q կտրվածքի մակերեսով դիֆուզվող նյութի քանակությունը հավասար է Δm (նկ.1ա), և ունենալով կոնցենտրացիայի գրադիենտը dc/dx ($\Delta x \rightarrow 0$, $\Delta x = dx$; $\Delta c \rightarrow 0$, $\Delta c = dc$) ֆիկի առաջին օրենքի հիման վրա կարելի է գրել՝

$$\Delta m = -q \cdot D \frac{dc}{dx}, \quad (1)$$

որտեղ D -ն դիֆուզիայի գործակից է:

Քանի որ դիֆուզիոն հոսքի ուղղությունը հակառակ է կոնցենտրացիայի գրադիենտի ուղղությանը, ուստի կոնցենտրացիայի գրադիենտը նշվում է «մինուս» նշանով: Դժվարություն չի ներկայացնում կոնցենտրացիայի գրադիենտը չափել դիֆուզիայի ուղղությամբ որոշակի ժամանակահատվածից հետո կամ հետևել կոնցենտրացիայի փոփոխությանը՝ ըստ ժամանակի դիֆուզիոն տարածական որևէ կետում:



Նկ.1. Տարածական ծավալում նյութի տեղափոխման սխեմա

Կոնցենտրացիայի, x հեռավորության և t ժամանակի միջև կապ հաստատող հավասարման արտածման համար ուսումնասիրենք տարրական $q\Delta x$ ծավալը, որը տեղակայված է դիֆուզիոն տարածության մեջ (նկ.1 բ): q լայնական հատույթում t ժամանակի ընթացքում ներս դիֆուզիոն նյութի քանակությունը կարելի է արտահայտել՝

$$\Delta m = -D \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right) q \Delta t : \quad (2)$$

Եթե դիֆուզիայի գործակիցը հաստատուն մեծություն է, դիֆուզիայի հետևանքով $q\Delta x$ ծավալում դուրս եկող նյութի քանակությունը կարելի է արտահայտել հետևյալ օրինաչափությամբ՝

$$\Delta m_{x+\Delta m} = -D \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right)_{x+\Delta x} q \Delta t = -D \left[\left(\frac{\partial c}{\partial x} \right) - \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \right] q \Delta t : \quad (3)$$

(3) և (2) արտահայտությունների տարբերությունը հետագոտվող ծավալում C կոնցենտրացիա ունեցող նյութի քանակությունն է՝

$$\Delta m_{x+\Delta x} - \Delta m_x = -D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \right) q \Delta x \cdot \Delta t : \quad (4)$$

(4) արտահայտությունից, հաշվի առնելով կոնցենտրացիան, կստանանք՝

$$\frac{\Delta m_{x+\Delta x} - \Delta m_x}{q \Delta x \cdot \Delta t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} : \quad (5)$$

Դիֆուզիոն ստացիոնար հոսքը գործականում հազվադեպ է իրագործվում: Որպեսզի հաշվի առնվի ատոմների կուտակման արագությունը նյութի փոքրագույն ծավալում, (5) բանաձևը դիֆերենցում ենք մասնակի ածանցյալի, և ստացված օրինաչափությունը հանդես է գալիս Ֆիկի երկրորդ բանաձևի տեսքով՝

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} : \quad (6)$$

(6) բանաձևը ընդունելի է, երբ դիֆուզիայի գործակիցը կախված չէ կոնցենտրացիայից, հակառակ դեպքում այն ունի հետևյալ տեսքը՝

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial c}{\partial x} \right) : \quad (7)$$

Երկկոմպոնենտ հազեցման համար օգտվում ենք հետևյալ հավասարումներից (Գիրկալդի հավասարումը).

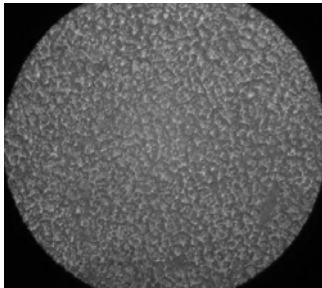
$$\frac{\partial c_1}{\partial t} = D_{11} \frac{\partial^2 c_1}{\partial x^2} + D_{12} \frac{\partial^2 c_2}{\partial x^2}, \quad (8)$$

$$\frac{\partial c_2}{\partial t} = D_{21} \frac{\partial^2 c_1}{\partial x^2} + D_{22} \frac{\partial^2 c_2}{\partial x^2}, \quad (9)$$

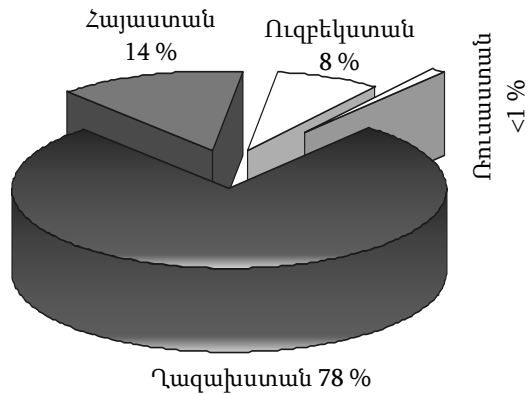
որտեղ $\frac{\partial c_1}{\partial t}$, $\frac{\partial c_2}{\partial t}$ -ն առաջին և երկրորդ տարրերի կոնցենտրացիաների գրադիենտներն են, D_{12} , D_{21} -ը՝ դիֆուզիայի կինետիկական գործակիցները, որոնք հաշվի են առնում երկրորդ տարրի հոսքի ազդեցությունը առաջին տարրի դիֆուզիայի վրա և հակառակը:

Դիֆուզիայի գործակիցը կարող է կախված լինել նաև նյութի կոնցենտրացիայից, տարածական կոորդինատներից և ժամանակից:

Մեր կողմից մշակվել է տեխնոլոգիա, որի համաձայն ընտրվել են P6M5 մակնիշի արագահատ միաված պողպատից փորձանմուշներ և 500°C ջերմաստիճանում, 1,0 ժամ պահման տևողությամբ, դժվարահալ մետաղներից մեկի՝ ռենիումի աղի (NH_4ReO_4) միջոցով խողովակային վառարանում՝ ջրածնի միջավայրում, կատարել ենք ջերմաքիմիական մշակում, պողպատի մակերևույթի վրա ստացել ռենիումապատված շերտ:



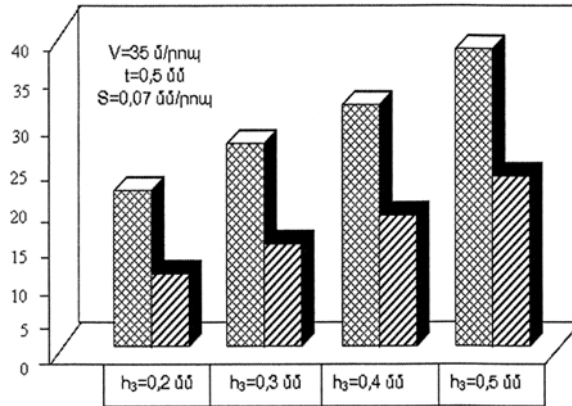
Նկ.2. P6M5 մակնիշի պողպատի կառուցվածքը ռենիումապատումից հետո



Նկ.3. Ռենիումի մոտավոր պաշարների ցուցանիշներն ԱՊՀ-ի երկրներում [3]

Նկ.2-ում ցույց է տրված ռենիումապատված P6M5 մակնիշի պողպատի կառուցվածքը: Հետազոտությունները ցույց են տվել, որ տեխնոլոգիական գործընթացի վրա էական ազդեցություն ունեն տաքացման ջերմաստիճանը և պահման տևողությունը: Ինչպես ջերմաստիճանի բարձրացումը, այնպես էլ պահման ժամանակի ավելացումը դրական են ազդում մաշակայուն շերտի հաստության ավելացման վրա:

Տեղական հումքի օգտագործման առումով Հայաստանի Հանրապետությունն ունի բավարար քանակությամբ ռենիումի պաշարներ: ԱՊՀ-ի երկրներում ռենիումի մոտավոր պաշարների ցուցանիշները տրված են նկ.3-ում [3]: Ներկայումս ռենիումի աղեր՝ ամոնիումի և կալիումի պերռենատների տեսքով, մշակում և ստանում են «Արմենիան Մոլիբդեն Փրոդաքշն» և «Մաքուր երկաթ» մետալուրգիական ձեռնարկություններում:



Նկ.4. Ռենիումով ջերմաքիմիական եղանակով մշակված և միաված արագահատ P6M5 մակնիշի գործիքապողպատների մաշակայունության ցուցանիշներ. $V=35$ մ/րոպ, $t=0,5$ մմ, $s=0,07$ մմ/րոպ, $t \times s = 0,5 \times 0,07$: Մշակվող նյութը՝ պողպատ 45

▨ - միաված,
▨ - ռենիումապատված

Աղյուսակ

Ռենիումապատված և սովորական ջերմային մշակում անցած արագահատ P6M5 մակնիշի պողպատի մաշակայունության կախվածությունը գործիքի հետևի նիստի մաշվածքի չափից

Գործիքի մաշակայունության ցուցանիշները, րոպ								
կտրման արագությունը- 40 մ/րոպ								
h/h	միաված(h_3 , մմ)				ռենիումապատված(h_3 , մմ)			
	0,2	0,3	0,4	0,5				
1	10	11	17	17	23	27	33	35
2	13	15	15	20	21	25	36	35
3	11	13	16	18	22	27	34	34
4	12	12	15	16	24	28	33	36
5	11	12	18	19	23	29	34	35
Միջին արժեքը	11,4	12,4	16,4	18,0	22,6	27,2	34,0	35,0
Մաշման բարձրացման ցուցանիշներ	1,0	1,0	1,0	1,0	1,9	2,2	2,0	1,9

Կատարել ենք մի շարք գիտափորձական աշխատանքներ և բացահայտել ռենիումով ջերմաքիմիական մշակման ենթարկված արագահատ գործիքապողպատների մաշակայունության և արդյունավետության բարձրացումը: Փորձարկումները կատարվել են $V=35$ մ/րոպ արագությամբ, կտրման խորությունը կազմել է $t=0,5$ մմ, մատուցումը՝ 0,07 մմ/պտ: Մշակվել է պողպատ 40: Գործիքի մաշակայունության չափ է ընդունվել կտրող թիթեղիկի հետևի նիստի մաշումը՝ $h_3=0,2; 0,3; 0,4; 0,5$ մմ: Փորձարկվել են երկու խմբի (միաված և միաված+ռենիումապատված)

թիթեղիկներ՝ յուրաքանչյուրից հինգ հատ: Թիթեղիկների փորձարկումներից ընտրվել է դրանց միջին թվաքանական արժեքը: Փորձարկման արդյունքները բերված են նկ. 4-ում և աղյուսակում:

Այսպիսով, աշխատանքում բերված հավասարումները հնարավորություն են տալիս ճիշտ պատկերացում կազմել ջերմաքիմիական մշակման ժամանակ դիֆուզիայի գործընթացի ձևավորման մասին: Կատարված գիտափորձնական տվյալներից պարզ է դառնում, որ արագահատ գործիքապողպատների վրա դժվարահալ մետաղներից (ռենիումից) մաշակայուն շերտերի ստացումը՝ տեղական հումքի օգտագործմամբ, գիտատեխնիկական նոր նվաճում է: Այն հնարավորություն է տալիս բարձրացնել գործիքների մաշակայունությունը սովորական, ստանդարտ թիթեղիկների համեմատ ավելի քան 1,9 ... 2,2 անգամ (աղ.):

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Лариков Л.Н., Исайчев В.И.** Диффузия в металлах и сплавах: Справочник. – Киев: Наукова думка, 1987.- 510 с.
2. **Криштал М.А.** Механизм диффузии в железных сплавах. – М.: Металлургия, 1985. - 176 с.
3. **Бурденкова Н.Н.** Рений. Тенденции в развитии мирового рынка. – М.: ИМГРЭ, 2002. - 95 с.

ՀՊՃՀ (Պ): Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 10.05.2011:

**Г.С. ОВСЕПЯН, К.Г. КАРАПЕТЯН, К.С. АГБАЛЯН, Н.Г. ОВСЕПЯН,
С.В. ВАРДАНИЯН**

**ПРОЦЕСС ДИФФУЗИИ И ПОЛУЧЕНИЕ ДИФФУЗИОННОГО СЛОЯ НА
БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЯХ**

Заданы характеристические уравнения диффузионного процесса во время термохимической обработки и пояснены происходящие закономерности перестановки материала в элементарном объеме. Разработана технология получения износостойкого слоя из рения на быстрорежущих сталях. Приведены экспериментальные данные о повышении износостойкости инструментов.

Ключевые слова: диффузия, уравнение, коэффициент диффузии, концентрация, течение, рений, металлизация.

**G.S. HOVSEPYAN, K.G. KARAPETYAN, K.S. AGHBALYAN, N.G. HOVSEPYAN,
S.V. VARDANYAN**

**THE EQUATION, PROCESS OF DIFFUSION AND RECEPTION OF THE
DIFFUSIVE LAYER ON FAST-CUTTING STEELS**

The characteristic equations of diffusive process during thermochemical processing are given and material shift laws of material shift occurring in an elementary volume are explained. Technology of wearproof layers obtaining from rhenium on fast-cutting steels is developed. Experimental data on increase in wear resistance of tools are given.

Keywords: diffusion, equation, diffusion factor, concentration, current, rhenium, metallization.

С.Г. ЕСАЯН

К РЕШЕНИЮ ОСНОВНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ТЕОРИИ ПОЛЗУЧЕСТИ И СТАРЕНИЯ БЕТОНА

Разработан метод решения основных интегродифференциальных уравнений теории старения бетонов. Сущность метода заключается в том, что неизвестные функции (напряжение или информация) определяются разложением интегрального уравнения вязкоупругости в степенной ряд Тейлора по степеням характеристики ползучести данного материала.

Ключевые слова: бетон, характеристика ползучести, интегродифференциальное уравнение, ряд Тейлора, приближенное решение.

Для общности рассмотрим случай, когда на бетонную среду действуют все три составляющие компоненты нормальных напряжений, величина которых со временем может меняться: $\sigma_x(t)$, $\sigma_y(t)$, $\sigma_z(t)$. Тогда связь напряжение-деформация с учетом ползучести и старения бетона выразится интегральным уравнением

$$\varepsilon_i(t) = \frac{S_i(t)}{E(t)} + \frac{1}{E(\tau_0)} \int_{\tau_1}^t S_i(\tau) \frac{d\varphi(\tau)}{d\tau} d\tau, \quad (1)$$

где $\varphi(\tau)$ – характеристика ползучести бетона [1]; $S_i(\tau) = \sigma_i(\tau) - \nu(t)[\sigma_x(\tau) + \sigma_y(\tau) + \sigma_z(\tau) - \sigma_i(\tau)]$; $\nu(t)$ – коэффициент Пуассона, величина которого зависит от возраста бетона; $E(t)$ – модуль упругости, величина которого зависит от возраста бетона; τ_1 – начало времени приложения напряжений; τ – текущее время, $i = x, y, z$.

Из граничных условий, учитывая совместность деформаций, относительные деформации, кроме трех уравнений (1), дополнительно можно выразить через напряжения. В общем случае эта связь имеет вид [2]

$$\begin{aligned}
\varepsilon_x(t) &= g_1 + g_{xx}\sigma_x(t) + g_{xy}\sigma_y(t) + g_{xz}\sigma_z(t); \\
\varepsilon_y(t) &= g_2 + g_{yx}\sigma_x(t) + g_{yy}\sigma_y(t) + g_{yz}\sigma_z(t); \\
\varepsilon_z(t) &= g_3 + g_{zx}\sigma_x(t) + g_{zy}\sigma_y(t) + g_{zz}\sigma_z(t),
\end{aligned} \tag{2}$$

где g – некоторые коэффициенты, определяемые из граничных условий.

Изменение величин напряжений со временем можно характеризовать через функцию $h_i(t)$:

$$h_i(t) = \sigma_i(t) / \sigma_i(\tau_1). \tag{3}$$

Подставляя (2) и (3) в (1) и разделив первую строчку на $\sigma_x(\tau_1)$, вторую на $\sigma_y(\tau_1)$, третью на $\sigma_z(\tau_1)$, приведем (1) к виду

$$\begin{aligned}
(1 - g_{xx})h_x(t) - [v(t) + g_{xy}]Y_x h_y(t) - [v(t) + g_{xz}]Z_x h_z(t) &= b_x(t), \\
-[v(t) + g_{yx}]X_y h_x(t) + (1 - g_{yy})h_y(t) - [v(t) + g_{yz}]Z_y h_z(t) &= b_y(t), \\
-[v(t) + g_{zx}]X_z h_x(t) - [v(t) + g_{zy}]h_y(t) + (1 - g_{zz})h_z(t) &= b_z(t);
\end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned}
b_x(t) &= E(t) \left\{ g_x + \frac{1}{A(\tau_1)} \int_{\tau_1}^t \left\{ h_x(\tau) - v(t) [Y_x h_y(\tau) + Z_x h_z(\tau)] \right\} \frac{\partial \varphi(\tau)}{\partial \tau} d\tau \right\}, \\
b_y(t) &= E(t) \left\{ g_y + \frac{1}{A(\tau_1)} \int_{\tau_1}^t \left\{ h_y(\tau) - v(t) [X_y h_x(\tau) + Z_y h_z(\tau)] \right\} \frac{\partial \varphi(\tau)}{\partial \tau} d\tau \right\}, \\
b_z(t) &= E(t) \left\{ g_z + \frac{1}{A(\tau_1)} \int_{\tau_1}^t \left\{ h_z(\tau) - v(t) [X_z h_x(\tau) + Y_z h_y(\tau)] \right\} \frac{\partial \varphi(\tau)}{\partial \tau} d\tau \right\},
\end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned}
g_x &= g_1 / \sigma_x(\tau_1); \quad g_y = g_2 / \sigma_y(\tau_1); \quad g_z = g_3 / \sigma_z(\tau_1), \\
X_y &= \sigma_x(\tau_1) / \sigma_y(\tau_1) = 1 / Y_x; \quad Y_x = \sigma_y(\tau_1) / \sigma_x(\tau_1) = 1 / X_y, \\
X_z &= \sigma_x(\tau_1) / \sigma_z(\tau_1) = 1 / Z_x; \quad Z_x = \sigma_z(\tau_1) / \sigma_x(\tau_1) = 1 / X_z, \\
Y_z &= \sigma_y(\tau_1) / \sigma_z(\tau_1) = 1 / Z_y; \quad Z_y = \sigma_z(\tau_1) / \sigma_y(\tau_1) = 1 / Y_z.
\end{aligned} \tag{6}$$

В теории старения упругие коэффициенты бетона выражаются через характеристику ползучести $\varphi(t)$ [1]. Тогда не составляет труда уравнения (5) и (4) поочередно дифференцировать по φ . Подставляя в (4) и (5) $t = \tau_1$, находим

коэффициенты $\varphi^{(n)}(\tau_1)$, где n – порядок дифференцирования. Значения коэффициентов изменения напряжений $h_i(t)$ находим разложением их в степенной ряд Тейлора по степеням $\varphi(t)$:

$$h_i(t) = 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\varphi^n(t)}{n!} h_i^{(n)}(\tau_1). \quad (7)$$

Остановливаясь на номере ряда N , получим приближенную формулу для $h_i(t)$:

$$h_i(t) \approx 1 + \sum_{n=1}^N \frac{\varphi^n(t)}{n!} h_i^{(n)}(\tau_1). \quad (8)$$

Эффективность предложенного метода иллюстрируем на примере одноосного напряженного состояния, принимая для наглядности $E(t) = E(\tau_1) = \text{const}$. Точное решение этой задачи будет

$$\sigma(t) = \sigma(\tau_1) e^{-\theta}, \quad (9)$$

или функция изменения напряжения:

$$h(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-\theta)^n}{n!}, \quad (10)$$

где

$$\theta = \varphi(t) / [1 + gE(\tau_1)].$$

Очевидно, что ряд (10) представляет собой экспоненциальную функцию $e^{-\theta}$, что с точностью совпадает с решением (9).

Решение основных интегродифференциальных уравнений теории ползучести (1) и (4) можно получить также разложением искомого $h_i(t)$ непосредственно в степенной ряд Тейлора по степеням аргумента времени t :

$$h_i(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(t - \tau_1)^n}{n!} h_i^{(n)}(\tau_1), \quad (11)$$

однако при этом для получения удовлетворительного приближенного значения $h_i(t)$ пришлось бы взять несравненно большее количество первых членов ряда (11). Это объясняется тем, что значения t изменяются в весьма широком диапазоне: от τ_1 до бесконечности, в то время как максимальное значение φ_{∞} ограничено. Это видно из приведенных ниже числовых данных для разных бетонов [1]:

обычные тяжелые бетоны с крупным заполнителем - $\varphi_{\infty} = 1,0 \dots 4,0$;

легкие и пробужденные бетоны - $\varphi_{\infty} = 3,0 \dots 5,0$;
 мелкозернистые тяжелые бетоны - $\varphi_{\infty} = 2,0 \dots 5,0$;
 автоклавные мелкозернистые бетоны - $\varphi_{\infty} = 2,0 \dots 4,0$;
 силикаты, глиносиликаты, силикальциты - $\varphi_{\infty} = 1,0 \dots 3,0$;
 пеносиликаты и пеносиликальциты - $\varphi_{\infty} = 2,0 \dots 4,0$.

Необходимо также иметь в виду, что обычно значение θ не превосходит единицы $\theta \leq 1$. Так, например, если взять симметрично армированный центрально сжатый железобетонный элемент, то тогда

$$g = 1/\mu E_s, \quad \theta = m\mu\varphi/(1 + m\mu),$$

где μ – процент армирования; E_s – модуль упругости арматуры.

Если принять максимальное значение $\varphi_{\infty} = 5,0$, то получим $\theta = 1$. Расчеты показывают, что даже для этого предельного случая при оставлении первых трех членов расхождение между точными и приближенными значениями $h(t)$ не превышает 2,3%, что незначительно.

В таблице приведены точные (столбцы 1) и приближенные (столбцы 2) значения $h(\varphi, \mu)$ при $N=3$ и проценты расхождения между ними. Как видно из числовых данных таблицы, даже при самых предельных условиях ($\varphi_{\infty} = 4,0$ и $\mu = 3,0\%$) расхождение между точной и приближенной величинами $h(\varphi, \mu)$ составляет всего 6,0%, что тоже вполне приемлемо для практических расчетов.

Таблица

φ	$\mu = 0,015$		$\pm, \%$	$\mu = 0,02$		$\pm, \%$	$\mu = 0,025$		$\pm, \%$	$\mu = 0,03$		$\pm, \%$
	1	2		1	2		1	2		1	2	
1,0	0,878	0,878	0,0	0,844	0,844	0,0	0,819	0,819	0,0	0,795	0,795	0,0
2,0	0,770	0,770	0,0	0,719	0,719	0,0	0,670	0,670	0,0	0,630	0,631	-0,1
3,0	0,676	0,676	0,0	0,603	0,603	-0,1	0,544	0,549	-0,9	0,494	0,501	-1,4
4,0	0,592	0,594	-0,3	0,505	0,505	-1,3	0,440	0,449	-2,0	0,374	0,398	-6,0

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Улицкий И.И. Теория и расчет железобетонных стержневых конструкций с учетом длительных процессов. – Киев: Будівельник, 1967. – 348 с.
2. Есаян С.Г. Реологическое моделирование вязкоупругих, упругопластических и вязкоупругопластических сред. – Ереван: Изд-во ГИУА "Чартарагет", 2009. – 367 с.

ГИУА (П). Материал поступил в редакцию 10.11.2010.

Ս.Գ. ԵՍԱՅԱՆ

ԲԵՏՈՆԻ ՍՈՂՔԻ ԵՎ ԾԵՐԱՑՄԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅԱՆ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԻՆՏԵԳՐԱԼ ՀԱՎԱՍԱՐՄԱՆ ԼՈՒԾՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

Մշակված է բետոնի սողքի հիմնային ինտեգրալֆերենցիալ հավասարման լուծման մեթոդ: Այդ մեթոդի էությունն այն է, որ լարումների կամ դեֆորմացիաների անհայտ ֆունկցիայի անալիտիկ արտահայտությունն ստացվում է սողքի ինտեգրալ հավասարումը լուծելով Թեյլորի աստիճանային շարքի միջոցով, որը վերլուծվում է ըստ նյութի սողքի բնութագրի:

Առանցքային բառեր. բետոն, սողքի բնութագիր, ինտեգրալֆերենցիալ հավասարում, Թեյլորի շարք, մոտավոր լուծում:

S.G. YESAYAN

TO THE SOLUTION OF BASIC INTEGRAL EQUATIONS IN CONCRETE CREEPING AND AGING THEORY

The method for solving basic integral differential equations in concrete aging theory is developed. The essence of the method is that unknown functions (stress or deformation) are defined by decomposition of integral viscous elasticity equations into Taylor power series by the degrees of the given material creeping characteristics.

Keywords: concrete, creeping characteristic, integral differential Taylor series, equation, approximate solution.

В.С. САФАРЯН, Л.В. САФАРЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ СУЩЕСТВОВАНИЯ И УСТОЙЧИВОСТИ СТАЦИОНАРНОГО РЕЖИМА СИНХРОННОЙ МАШИНЫ

Исследуется условие существования и устойчивости стационарной точки синхронной машины в зависимости от внешних воздействий (напряжений статора и возбуждения, механического момента). Для оценки устойчивости стационарной точки синхронной машины используется теорема Ляпунова об устойчивости по первому приближению.

Ключевые слова: стационарный режим, генераторный и двигательный режимы, напряжение возбуждения, механический момент, статическая устойчивость, выпуклое множество.

Стационарный режим работы синхронной машины (СМ) и его устойчивость при заданных конструктивных параметрах машины зависят от внешних воздействий (механического момента, напряжений статора и возбуждения). Математическая модель переходного процесса СМ представляет систему нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений, решение которой возможно получить лишь численными методами [1-4]. Отсутствие аналитических решений не позволяет получить точные значения мгновенных токов и электромагнитных моментов при различных переходных процессах, а также выявить функциональные аналитические зависимости между отдельными величинами.

Исходя из вышеизложенного, исследование условия существования и устойчивости стационарного режима СМ в зависимости от внешних воздействий является актуальным, чему и посвящена настоящая работа.

Рассмотрим математическую модель переходного процесса СМ в системе координат d, q [1]:

$$\begin{cases} (\rho_d + p)U_d + (1+s)U_q + pU_r = e_s \sin \theta, \\ -(1+s)U_d + (\rho_q + p)U_q - (1+s)U_r = -e_s \cos \theta, \\ \mu p U_d + (\rho_r + p)U_r = M_d e_r / L_r, \\ p\theta - s = 0, \\ \omega^2 J p s + 1.5[(U_r U_q)/X_q + (1/X_q - 1/X_d)U_d U_q]/\omega = M_m, \end{cases} \quad (1)$$

где ω - синхронная угловая скорость; $p = d/(dt\omega)$ - оператор дифференцирования; $R(r)$ - активное сопротивление статорной (роторной) обмотки; X_d ,

X_q - реактивные сопротивления СМ по осям d , q ; X_r - реактивное сопротивление ротора; $\rho_d = R/X_d$, $\rho_q = R/X_q$, $\rho_r = r/X_r$; i_d , i_q - проекции тока статора по осям d , q ; i_r - ток ротора; L_r - индуктивность ротора; $U_d = X_d i_d$, $U_q = X_q i_q$; M_d - взаимная индуктивность между обмотками статора и ротора (наибольшее значение); $\mu = 1.5M_d^2/(L_d L_r)$ - коэффициент магнитной связи; e_s - амплитудное значение напряжения статора; e_r - значение напряжения ротора; $U_r = \omega M_d i_r$ - напряжение статора в холостом ходе; θ - угол между синхронно вращающейся осью и поперечной осью ротора (рис. 1); ω_r - угловая скорость вращения ротора; $s = (\omega_r - \omega)/\omega$ - скольжение; M_m - механический момент на вале ротора; J - момент инерции ротора.

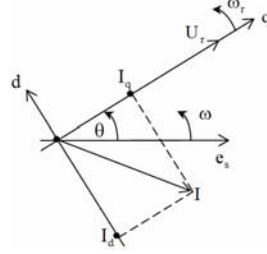


Рис. 1. Векторная диаграмма синхронной машины

В системе нелинейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами (1) конструктивные параметры машины (R , r , X_d , X_q , X_r , M_d , $\mu = 1 - X'_d/X_d$, X'_d - переходное сопротивление) и внешние воздействия (e_r , M_m , e_s) считаются заданными, а искомыми являются U_d , U_q , U_r , θ и s .

В системе уравнений (1), полагая $p = 0$, $X_d = X_q = X$, $s = 0$, получим математическую модель стационарного движения неявнополюсной СМ в виде

$$\begin{cases} \rho U_d + U_q = e_s \sin \theta, \\ -U_d - U_r + \rho U_q = -e_s \cos \theta, \\ \rho_r U_r = M_d e_r / L_r, \\ 1.5 U_r U_q / X = \omega M_m. \end{cases} \quad (2)$$

Из системы уравнений (2) U_r и U_q определяем непосредственно:

$$U_r = M_d e_r / (L_r \rho_r) = \omega M_d i_r, \quad (3)$$

$$U_q = 2(\omega M_m X / U_r) / 3 = 2(M_m X / (M_d i_r)) / 3. \quad (4)$$

Величина U_d является корнем квадратного уравнения

$$(\rho^2 + 1)U_d^2 + 2U_r U_d + U_q^2 + (U_r - \rho U_q)^2 - e_s^2 = 0, \quad (5)$$

а угол θ определяется соотношением

$$\operatorname{tg} \theta = (\rho U_d + U_q) / (U_d + U_r - \rho U_q). \quad (6)$$

Таким образом, неявнополюсная СМ может иметь две стационарные точки, у которых значения U_r и U_q одинаковы. Условие существования стационарной точки неявнополюсной СМ сводится к условию неотрицательности дискриминанта квадратного уравнения (5):

$$D = U_r^2 - (\rho^2 + 1)[U_q^2 + (U_r - \rho U_q)^2 - e_s^2] \geq 0. \quad (7)$$

Условие (7) перепишем в виде

$$D = -[\rho U_r - (\rho^2 + 1)U_q]^2 + (\rho^2 + 1)e_s^2 \geq 0, \quad (8)$$

или же

$$D = -[\rho U_r - y / U_r]^2 + (\rho^2 + 1)e_s^2 \geq 0, \quad (9)$$

$$y = 2(\rho^2 + 1)\omega_s M_m X / 3. \quad (10)$$

Исследуем условие существования стационарной точки (9) СМ в зависимости от изменения внешних параметров машины (e_s, e_r, M_m).

Поскольку величины U_r и y прямо пропорциональны e_r и M_m , то рассмотрим функцию $D = D(U_r, e_s, y)$ (9). Отметим, что $y > 0$ - в генераторном режиме ($M_m > 0$) и $y < 0$ - в двигательном режиме ($M_m < 0$).

Исследуем трехмерную функцию $D = D(U_r, e_s, y)$, фиксируя ее два аргумента.

1. Фиксируем e_s и y и рассматриваем функцию $D_1(U_r)$ (9).

Функция $D_1(U_r)$ имеет одну экстремальную точку (независимо от знака y):

$$U_r^* = \sqrt{|y|/\rho}, \quad (11)$$

которая является точкой максимума функции D_1 . Отметим, что

$$D_1(U_r^*) = (\rho^2 + 1)e_s^2 \text{ - в генераторном режиме и } D_1(U_r^*) = -4|y|\rho + (\rho^2 + 1)e_s^2 \text{ -}$$

в двигательном режиме.

Графики функции $D_1(U_r)$ для различных значений e_s (значение M_m фиксировано) изображены на рис. 2.

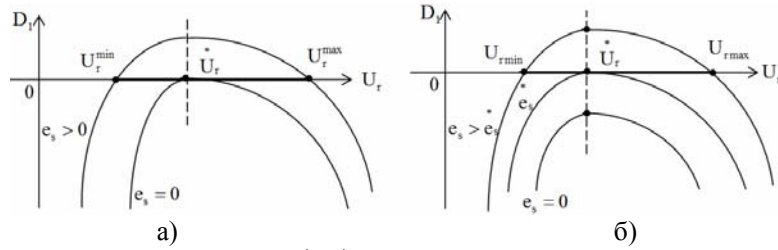


Рис. 2. Графики функций $D_1(U_r)$ для генераторного (а) и двигательного (б) режимов при различных значениях e_s

Исходя из вышеизложенного, для СМ при заданных значениях M_m и e_s можно определить диапазон значений $U_r \in [U_r^{\min}, U_r^{\max}]$, при котором существует стационарная точка СМ, причем из рис. 2 очевидно, что с увеличением e_s диапазон U_r расширяется в обе стороны.

Значения $U_r^{\min}$, $U_r^{\max}$ определяются решением квадратного уравнения

$$\rho U_r - y/U_r = \pm b, \quad (12)$$

где $b^2 = (\rho^2 + 1)e_s^2$.

Квадратное уравнение (12) перепишем в виде

$$\rho U_r^2 \pm b U_r - y = 0, \quad (13)$$

решение которого дается формулой

$$U_r = (\pm b \pm \sqrt{b^2 + 4y\rho}) / (2\rho) = (\pm b \pm \sqrt{d}) / (2\rho), \quad (14)$$

$$d = b^2 + 4y\rho, \quad (15)$$

причем нас интересуют только положительные корни.

Для генераторного режима $\sqrt{d} \geq b$ получаем

$$\begin{cases} U_r^{\max} = (b + \sqrt{d}) / 2\rho, \\ U_r^{\min} = (-b + \sqrt{d}) / 2\rho. \end{cases} \quad (16)$$

В генераторном режиме для любого значения e_s существуют $U_r^{\max}$ и $U_r^{\min}$

(16) (при $e_s = 0$, $U_r^{\min} = U_r^{\max} = U_r^* = \sqrt{y/\rho}$). Для двигательного режима

существует предельное значение e_s^* , стационарная точка СМ существует лишь при условии $e_s \geq e_s^*$. Предельное значение e_s^* определяется из условия $b^2 + 4y\rho = 0$, которое приобретает вид

$$e_s^* = \sqrt{-8(\omega_s M_m R)/3}. \quad (17)$$

Для двигательного режима СМ при заданном $e_s \geq e_s^*$ находим диапазон изменения U_r , при котором существует стационарная точка:

$$\begin{cases} U_r^{\max} = (b + \sqrt{d})/(2\rho), \\ U_r^{\min} = (b - \sqrt{d})/(2\rho). \end{cases} \quad (18)$$

Рассмотрим влияние изменения M_m на диапазон U_r в генераторном (16) и двигательном (18) режимах. Указанные диапазоны равны соответственно b/ρ и $\sqrt{d}/\rho$. Следовательно, диапазон U_r не зависит от M_m для генераторного режима, причем с увеличением M_m диапазон передвигается на числовой оси вправо, оставаясь по длине неизменным (рис. 3а, 4а). Для двигательного режима диапазон U_r зависит от значения механического момента, причем с увеличением (по абсолютной величине) механического момента U_r сужается, $U_r^{\max}$ уменьшается, а $U_r^{\min}$ увеличивается (рис. 3б, 4б).

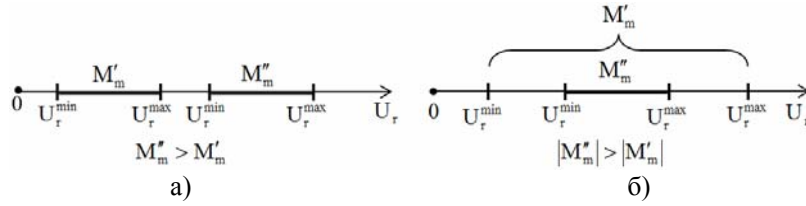


Рис. 3. Зависимость диапазона изменения U_r от механического момента в генераторном (а) и двигательном (б) режимах при фиксированном e_s

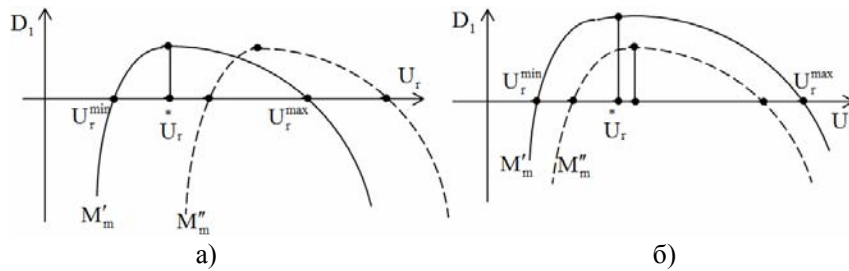


Рис. 4. Графики зависимости $D_1 = D_1(U_r)$ для генераторного (а) и двигательного (б) режимов при различных значениях M_m ($|M'_m| < |M''_m|$)

2. Фиксируем U_r и y и рассматриваем функцию $D_2(e_s)$ (9).

Сначала рассматриваем функцию $D_1 = D_1(U_r)$ при $e_s = 0$ для генераторного (рис. 5а) и двигательного (рис. 5б) режимов при различных значениях M_m .

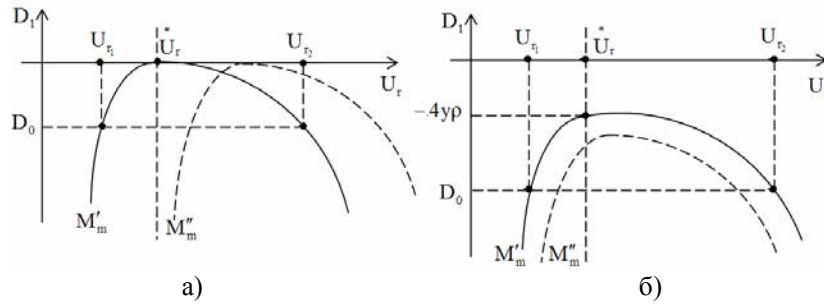


Рис. 5. Графики функций $D_1 = -(\rho U_r - y/U_r)^2$ для генераторного (а) и двигательного (б) режимов ($|M'_m| < |M''_m|$)

Исходя из графиков рис. 5, легко установить диапазоны изменения величины e_s (рис. 6) при фиксированных U_r и M_m . Отметим, что диапазон для e_s получается ограниченным только слева, при этом двум различным значениям U_{r1} и U_{r2} соответствует один и тот же диапазон для e_s .

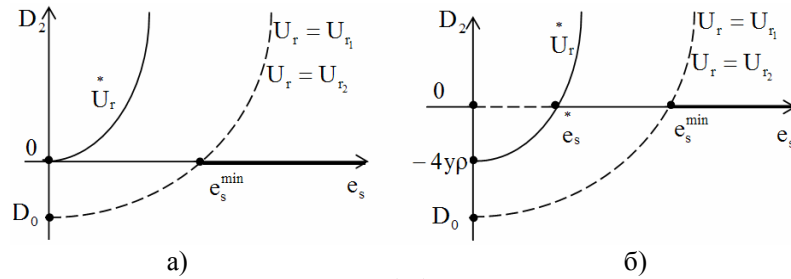


Рис. 6. Графики функций $D_2 = D_2(e_s)$ при различных значениях U_r для генераторного (а) и двигательного (б) режимов СМ

Величина $e_s^{\min}$ (рис. 6) определяется из соотношения

$$e_s^{\min} = |\rho U_r - y/U_r| / \sqrt{\rho^2 + 1}. \quad (19)$$

При $U_r = U_r^*$ для генераторного режима ($y > 0$) получаем $e_s^{\min} = 0$ (рис. 6а), а для двигательного режима ($y < 0$) - $e_s^{\min} = e_s^*$ (рис. 6б).

В двигательном режиме с увеличением M_m (по абсолютной величине) $e_s^{\min}$ увеличивается, в генераторном режиме с увеличением M_m $e_s^{\min}$ увеличивается при $U_r > U_r^*$ и уменьшается при $U_r < U_r^*$.

3. Фиксируем e_s и e_r и рассматриваем функцию $D_3(y)$ (9).

График функции $D_3(y)$ представляем параболой с вершиной $[\rho U_r^2, (\rho^2 + 1)e_s^2]$. Корни уравнения $D_3(y) = 0$ выражаются в виде

$$\begin{cases} y_{\max} = \rho U_r^2 + \sqrt{\rho^2 + 1} e_s U_r, \\ y_{\min} = \rho U_r^2 - \sqrt{\rho^2 + 1} e_s U_r, \end{cases} \quad (20)$$

причем $y_{\max} > 0$. Если $y_{\min} > 0$, то при заданных e_r и e_s СМ не может работать в двигательном режиме. Графики функции $D_3(y)$ при различных значениях e_s представлены на рис. 7.

Значение e_s^0 , при котором $y_{\min} = 0$, определяем из соотношения

$$e_s^0 = \rho U_r / \sqrt{\rho^2 + 1}. \quad (21)$$

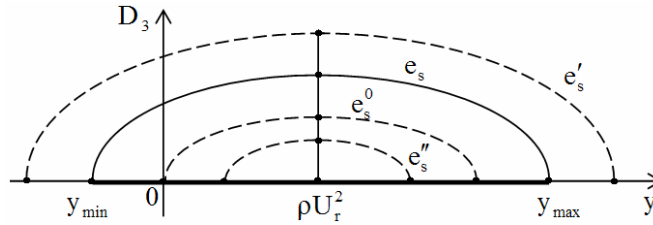


Рис. 7. Графики функций $D_3(y)$ при различных значениях e_s ($e_s' > e_s > e_s^0 > e_s''$) и фиксированном U_r

Рассмотрим графики функций $D_3(y)$ при различных значениях U_r (рис. 8).

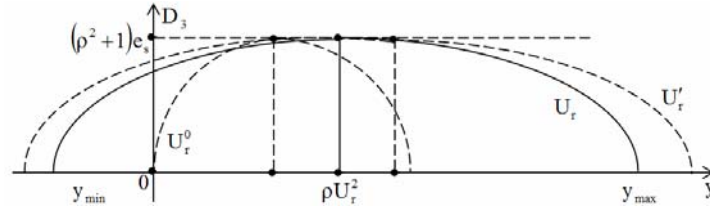


Рис. 8. Графики функций $D_3(y)$ при различных значениях U_r ($U'_r > U_r > U_r^0$) и фиксированном e_s

Значение U_r^0 , при котором $y_{\min} = 0$, определяется выражением

$$U_r^0 = e_s \sqrt{\rho^2 + 1} / \rho. \quad (22)$$

Выясним физические смыслы величин $e_r^* = U_r L_r \rho_r / M_d$ и e_s^* . Величина e_r^* представляет такое возбуждение, при котором СМ в генераторном режиме при коротком замыкании ($e_s = 0$) имеет стационарную точку.

e_s^* представляет наименьшее значение напряжения статора, при котором СМ в двигательном режиме может иметь стационарную точку при $e_r = e_r^*$.

Таким образом, для фиксированных значений величин e_s и M_m определяем диапазон $e_r \in [e_r^{\min}, e_r^{\max}]$ (рис. 9а), при котором тройке (e_s, e_r, M_m) соответствует движение СМ. Аналогично, для фиксированных значений величин e_r и M_m определяем диапазон изменения $e_s \geq e_s^{\min}$ (рис. 9б), при котором тройке (e_s, e_r, M_m) соответствует стационарное движение СМ.

Однако условие статической устойчивости для стационарных точек (e_s, e_r, M_m) , $e_r \in [e_r^{\min}, e_r^{\max}]$ или же $e_s \geq e_s^{\min}$ не всегда обеспечено. Исходя из свойства непрерывности определителей и собственных чисел матриц [5], можно утверждать, что области устойчивых стационарных точек СМ выпуклы.

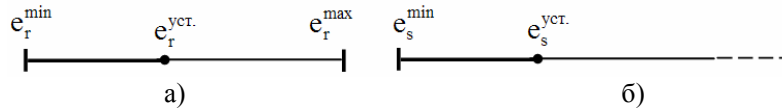


Рис. 9. Области изменения e_r и e_s

Экспериментальным путем показано, что подмножества устойчивых стационарных точек $([e_r^{\min}, e_r^{\text{уст.}}], [e_s^{\min}, e_s^{\text{уст.}}])$, если они существуют, расположены в левой части соответствующих множеств (рис. 9).

Для электропередачи (рис. 10), в которой генератор работает через трансформатор и линию электропередачи на шину бесконечной мощности, уравнение движения генератора при пренебрежении электромагнитными переходными процессами имеет вид [3]

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} = M_m - M_e. \quad (23)$$

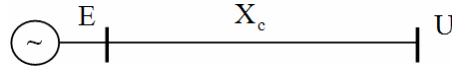


Рис. 10. Схема замещения электропередачи

Электромагнитный момент (M_e) при стационарном движении и пренебрежении активным сопротивлением имеет вид [3]

$$M_e = \frac{EU}{X_c \omega} \sin \theta,$$

где X_c - индуктивное сопротивление системы. С учетом $\theta = (\omega_r - \omega)t + \theta_0$ представим (23) в виде

$$\begin{cases} J \frac{d\omega_r}{dt} = M_m - M_e, \\ \frac{d\theta}{dt} = \omega_r - \omega. \end{cases} \quad (24)$$

$$\text{Устойчивость стационарной точки } \omega_r = \omega, \quad \sin \theta = \frac{M_m X_c \omega}{EU} \quad (24)$$

сводится к условию $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ [3].

Для полноценной оценки устойчивости стационарной точки СМ необходимо, помимо уравнений электромагнитных уравнений переходного процесса, учесть также уравнения регуляторов.

В настоящей работе исследуется условие устойчивости стационарной точки СМ с учетом электромеханических и электромагнитных переходных процессов.

Для оценки устойчивости стационарной точки СМ, соответствующей тройке (e_s, e_r, M_m) , воспользуемся теоремой Ляпунова об устойчивости по первому приближению [6].

Представим систему дифференциальных уравнений (1) в векторной форме:

$$A \frac{dZ}{dt} = f(Z), \quad (25)$$

где $Z = (U_d, U_q, U_r, \theta, S)^t$,

$$A = \omega \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \mu & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & J\omega^3 \end{bmatrix},$$

$$\begin{cases} f_1 = e_s \sin \theta - \rho U_d - (1+S)U_q, \\ f_2 = -e_s \cos \theta + (1+S)U_d - \rho U_q + (1+S)U_r, \\ f_3 = M_d e_r / L_r - \rho U_r, \\ f_4 = s, \\ f_5 = M_m \omega - 1.5 U_r U_q / x. \end{cases}$$

Составим матрицу Якоби для вектор - функции $f(Z)$:

$$Я = \omega \begin{bmatrix} -\rho & -(1+s) & 0 & e_s \cos \theta & -U_q \\ 1+s & -\rho & 1+s & e_s \sin \theta & U_d + U_r \\ 0 & 0 & -\rho_r & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1.5 U_r / x & -1.5 U_q / x & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Согласно теореме Ляпунова об устойчивости по первому приближению [6], стационарная точка СМ устойчива, если устойчива числовая матрица $A^{-1}Я$ [5] (матрица Якоби вычисляется в стационарной точке).

Выводы

1. Фиксируя две величины из трех (e_s , e_r , M_m), определяется диапазон изменения третьей величины, при котором существуют стационарные движения СМ.
2. Определяется условие статической устойчивости стационарной точки СМ с применением теоремы Ляпунова об устойчивости по первому приближению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Горев А.А.** Переходные процессы синхронной машины. - Л.: Наука, 1985. - 502 с.
2. **Андерсон П., Фуад А.** Управление энергосистемами и устойчивость. - М.: Энергия, 1980. - 568 с.
3. **Жданов П.С.** Вопросы устойчивости электрических систем. - М.: Энергия, 1979. - 456 с.
4. **Копылов И.П.** Математическое моделирование электрических машин. - М.: Высшая школа, 2001. - 327 с.
5. **Беллман Р.** Введение в теорию матриц. - М.: Наука, 1976. - 351 с.
6. **Иванов В.А., Медведев В.С., Чемоданов Б.К., Ющенко А.С.** Математические основы теории автоматического управления. Т.1. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. - 552 с.

ЗАО “НИИ Энергетики”. Материал поступил в редакцию 03.04.2011.

Վ.Ս. ՍԱՖԱՐՅԱՆ, Լ.Վ. ՍԱՖԱՐՅԱՆ

ՄԻՆՔՐՈՆ ՄԵՔԵՆԱՅԻ ՍՏԱՑԻՈՆԱՐ ՌԵԺԻՄԻ ԳՈՅՈՒԹՅԱՆ ԵՎ
ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Հետազոտվում է սինքրոն մեքենայի ստացիոնար կետի գոյության և կայունության պայմանը՝ կախված արտաքին ազդեցություններից (ստատորի և զրգոման լարումներ, մեխանիկական մոմենտ): Սինքրոն մեքենայի ստացիոնար ռեժիմի կայունության որոշման համար օգտագործվում է Լյապունովի՝ կայունության վերաբերյալ առաջին մոտարկման թեորեմը:

Առանցքային բառեր. ստացիոնար ռեժիմ, գեներատորային և շարժիչային ռեժիմներ, զրգոման լարում, մեխանիկական մոմենտ, ստատիկ կայունություն, ուռուցիկ բազմություն:

V.S. SAFARYAN, L.V. SAFARYAN

INVESTIGATION ON STATIONARY EXISTENCE AND STABILITY
SYNCHRONOUS MACHINE MODE

The condition of existence and stability of stationary synchronous machine point depending on external action (stator and disturbance stresses, moment) is investigated. To evaluate the stability of stationary synchronous machine point, Lyapunov theorem of stability on the first approximation is used.

Keywords: stationary regime, generator and traction modes, excitation voltage, moment, static stability, convex set.

Ա. Յու. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

ՏԵՂԵԿԱՏՎԱԿԱՆ ՑԱՆՑԵՐՈՒՄ ԳՐՈՀՆԵՐԻ ՀԱՅՏՆԱԲԵՐՄԱՆ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ ՄԻՋՈՑՆԵՐԻ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄ ՆԵՅՐՈՑԱՆՑԵՐԻ ՄԻՋՈՑՈՎ

Տեղեկատվական ցանցերում արտաքին գրոհների հայտնաբերման նպատակով նախագծվել է ծրագրային փաթեթ: Ծրագրային փաթեթում կիրառված են արհեստական նեյրոցանցեր, որոնց միջոցով կարելի է դուրս բերել նոր և ձևափոխված գրոհներ:

Առանցքային բառեր. բաշխված գրոհներ, հիբրիդային ցանց, ավտոմատացված միջոցներ:

Ներածություն: Շատ կազմակերպություններ և ձեռնարկություններ ամբողջ աշխարհով մեկ օգտագործում են քումփյութերային համակարգերի ավտոմատացված միջոցներ՝ արտադրական գործընթացների ղեկավարման, ռեսուրսների բաշխման և այլ նպատակներով: Ավտոմատացված միջոցների օգտագործումը մի շարք բացահայտ առավելություններ ունի: Դրանք են՝ վերադիր ծախսերի նվազեցում, արտադրական գործընթացների արագ կատարում: Բացի դրանից, շուկայում առաջ են եկել նոր բնույթի ծառայություններ՝ բանկային հաշիվների հեռակառավարում, ինտերնետի միջոցով ապրանքների և ծառայությունների պատվեր ու վճարում և այլն: Նշված պատճառներով մարդու գործունեության մեջ էապես բարձրացել է տեղեկությունների փոխանակման դերը:

Սակայն ավտոմատացված միջոցների բուռն աճը հանգեցրեց նաև քումփյութերային հանցագործության զարգացմանը: Այսօր գերակշռող գրոհներից են համարվում բաշխված ցանցային գրոհները, որոնց կանխումը և վնասագերծումը դարձել է արդիական հիմնախնդիր: Այդ գրոհների նպատակն է կաթվածահար անել գրոհող web հանգույցը: Բացի այդ, ցանցային գրոհները հաճախակի փոփոխվում են՝ գրոհողների անհատական մոտեցումների, նաև համակարգում ծրագրային ապահովվածության և ապարատային միջոցների պարբերաբար փոփոխությունների պատճառով: Գրոհների բացահայտման բոլոր օգտագործվող մեթոդները հանգեցվում են մի հիմնախնդրի. հաճախակի փոփոխվող ցանցային գրոհների բնութագրերը պահանջում են ճկուն պաշտպանող ավտոմատացված միջոցներ (ծրագրային փաթեթ), որոնք արդյունավետ կլինեն, եթե անգամ հայտնի չեն գրոհների ճշգրիտ բնութագրերը:

1. Ուսումնասիրության նպատակը և խնդիրները: Կան գրոհի հայտնաբերման երկու հիմնական տեխնոլոգիաներ՝ նորմից շեղված և չարաշահող: Նորմից շեղման

երևույթների հայտնաբերման մշակված մեթոդները կարող են օգտագործվել նոր գրոհների բացահայտման համար, սակայն ունեն վերլուծության ցածր արագություն: Նորմից շեղման երևույթների հայտնաբերման հիմնադրույթն այն է, որ գրոհները տարբերվում են նորմալ վարքից:

Երկրորդ և ամենատարածված գրոհների հայտնաբերման մոտեցումը չարաշահումների բացահայտումն է (Misuse Detection Intrusion Systems, MD-IDS): Այս համակարգը հիշեցնում է ցանցին միացված հակավիրուսային ծրագրերը: Այս մեթոդով իրականացվում է օգտագործողի գործունեության համեմատումը հայտնի շաբլոնների հետ: Սովորաբար նման համակարգերն ունեն սիգնատուրների հավաքածու, որոնք նկարագրում են միացությունների և ցանցային թրաֆիկի տեսակները և կարող են ցույց տալ գրոհի առկայությունը [1]: Չարաշահումների հայտնաբերման համակարգի հիմնական առավելությունն այն է, որ տվյալների բազայի վերլուծությունը կենտրոնացված է, և սովորաբար քիչ են կեղծ ահազանգեր առաջացնում: Չարաշահումների հայտնաբերման համակարգի հիմնական թերությունը կարող են որոշել միայն հիմնական գրոհները, որոնց համար սիգնատուր կա: Նոր գրոհներ հայտնաբերելու համար պետք է մշակել համապատասխան նոր մոդել՝ ավելացնելով սիգնատուրների բազայի մեջ:

Գրոհների հայտնաբերման մեթոդից անկախ, տեղեկատվություն ստանալու համար գրոհների բացահայտման արդյունավետությունը մեծ մասամբ կախված է կիրառվող վերլուծության մեթոդներից [2]. դրանցից են՝ վիճակագրական մեթոդը, կանխագուշակող շաբլոնների օգտագործումը, մի վիճակից մյուսին անցնելու վերլուծությունը, ոչ պարզ տրամաբանությունը, փորձագիտական համակարգերը, գենետիկական ալգորիթմները, մարկովյան գաղտնի մոդելները, Data Mining մեթոդները, արհեստական նեյրոցանցերը: Ուսումնասիրությունները ցույց են տվել, որ արհեստական նեյրոնային ցանցերը, ի տարբերություն կիրառվող վերլուծության մյուս մեթոդների, աշխատում են ոչ ամբողջական տվյալների հետ, նաև ունեն գրոհներ դուրս բերելու և կանխատեսելու հնարավորություն [3]:

2. Առաջարկվող մեթոդները: Իմանալով ցանցային գրոհների, մասնավորապես, բաշխված գրոհի գործելու սկզբունքը՝ առաջարկվում է օգտագործել արհեստական նեյրոնային ցանցեր: Արհեստական նեյրոցանցը ունակ է ճիշտումնասիրելու՝ կանխատեսված գրոհների բացահայտումը և նույնականացնելու տարրերը (թրաֆիկը), որոնք նման չեն նախկինում եղած տարրերին: Նեյրոցանցը կարող է մեծ ճշտությամբ հայտնաբերել կասկածելի դեպքերը: Դա համարվում է լավ հատկանիշ, քանի որ հակերները շատ հաճախ նմանակում են ուրիշների Տիաջողությունները՝:

Գրոհների բացահայտման ավտոմատացված միջոցները նախագծելու նպատակով անհրաժեշտ է լուծել հետևյալ խնդիրը.

1) Գտնել արհեստական նեյրոնային ցանցի հիման վրա նորմից շեղված երևույթների հայտնաբերման մեթոդ, որը թույլ է տալիս բացահայտել չգրանցված գրոհները:

2) Ավտոմատացնել բաշխված ցանցային գրոհների բացահայտման համակարգը, որն իրականացվում է համադրված երկու արհեստական նեյրոնային ցանցի (հիբրիդային արհեստական նեյրոցանցի) գյուտով:

Ներմուծենք հետևյալ նշանակումները.

Ենթադրենք՝ M -ը գրոհների հայտնաբերման մուտքային տվյալների մեծությունն է: Համակարգը սահմանափակված է մուտքային տվյալների ծավալով. այն կարող է վերամշակվել իր աշխատանքի որոշակի տակտի ընթացքում: Դա նշանակում է, որ M -ը վերջավոր մեծություն է: Տվյալ M բազմությունը բաժանենք երկու ենթաբազմության՝ A և B : A ենթաբազմությունը վերաբերում են այնպիսի տվյալներ, որոնք համարվում են գրոհներ, իսկ B ենթաբազմությանը՝ այնպիսի տվյալներ, որոնք անվտանգ են համարվում համակարգի համար: Այստեղից էլ կարելի է հետևություն անել՝

$$A \in M, B \in M, A \cap B \neq \emptyset, A \cup B = M: \quad (1)$$

Ցանցային թրաֆիկում նորմից շեղված գրոհների որոման մեթոդը հիմնված է տվյալների համընկնումների վրա, որոնք ներթափանցում են տեղեկատվական համակարգ՝ B ենթաբազմության տարրերի միջոցով: Այն դեպքում, երբ համընկնումը գտնված չէ, հաշվում են, թե որ մուտքային տվյալներն են համարվում գրոհներ: Այս մեթոդի համար B ենթաբազմության, հետևաբար՝ նաև A ենթաբազմության բոլոր տարրերը տեսականորեն ճանաչելի են և պարզ: Չնայած դրան՝ գործնականում շատ դժվար է լիարժեք և հստակ ձևավորել B ենթաբազմության տարրերը: Նորմից շեղված գրոհների հայտնաբերման մեթոդի համար առաջին կարգի սխալի հավանականությունը կազմում է.

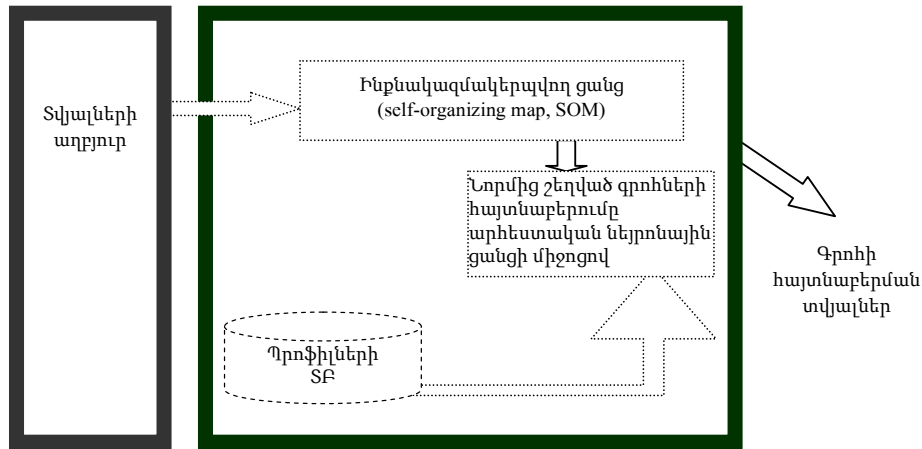
$$P_I = \frac{\psi(Y(B_{\Delta G} \underset{x=0}{\overset{n}{\cap}} A))}{\psi(A)}: \quad (2)$$

Երկրորդ կարգի հավանականության սխալը համապատասխանաբար հավասար է

$$P_{II} = \frac{\psi(B) - \psi(Y(B_{\Delta G} \underset{x=0}{\overset{n}{\cap}} B))}{\psi(B)}: \quad (3)$$

Խոցելիության հայտնաբերման ընթացքում ի հայտ են գալիս խոցելիության ձևակերպման բոլոր խնդիրները, այսինքն՝ հնարավոր չէ թվարկել տեղեկատվական համակարգում բոլոր խոցելիությունները, և, հետևաբար, նաև անձանոթ է A ենթաբազմության տարրերի ամբողջական հավաքածուն: Մեթոդն ունակ է ի հայտ բերելու միայն ճանաչված գրոհները: Ըստ վերոհիշյալի, B ենթաբազմության տարրերի հստակ և լիարժեք ձևակերպման խնդիրը շատ դժվար է լուծվում: Սրա հետևանք է առաջին կարգի հավանականության սխալների առավել մեծ արժեքը: Ի հայտ է գալիս մեթոդի նախագծման խնդիրը, որը կպարունակի երկու մեթոդների առավելությունները, այսինքն՝ առաջին և երկրորդ կարգի սխալների նվազեցման խնդրի լուծումը: Վերլուծելով գոյություն ունեցող գրոհների բացահայտման դասական մեթոդների առավելություններն ու թերությունները և հետազոտելով թերությունների առաջ գալու պատճառները՝ առաջանում է գրոհների

բացահայտման ավտոմատացված միջոցների նախագծման խնդիր, որի միջոցով կարելի է հայտնաբերել գրոհը (նկ. 1):

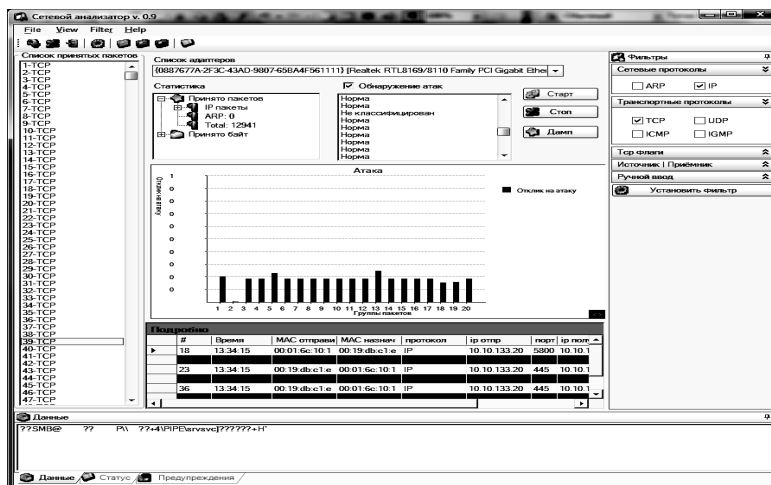


Նկ. 1. Գրոհների բացահայտման մեթոդի ընդհանրացված սխեմա

Բաշխված գրոհների բացահայտման համար առաջարկվում է կիրառել հիբրիդային նեյրոնային ցանց, որը բաղկացած է ինքնակազմակերպվող ցանցից (self-organizing map, SOM) և բազմաշերտ տեսակի պերսպեկտիվային: Ինքնակազմակերպվող ցանցն օգտագործվում է դասակարգելու կիրառական մակարդակում օգտագործվող ծանրաբեռնվածության առաջիկա հիսուն նիշերը (ASCII-կոդում) հանգույցների, որտեղ իրադաժությունները խմբավորված են որոշակի կանոնակարգով: Դրանից հետո փաթեթների վերնագրերի և խմբավորման մասին տվյալները հանդես են գալիս որպես բազմաշերտ պերսպեկտիվային մուտքային տվյալներ: Դասակարգված իրադաժությունները (վեկտորները) պերսպեկտիվային մուտքի վեկտորներ են: Բազմաշերտային պերսպեկտիվային ուսուցանված է ցանցային թրաֆիկի նորմից շեղումը դասակարգելու նպատակով, բայց արդեն հաշվի առնելով տեղեկատվությունը իրադաժության մասին, այսինքն՝ փաթեթի պատկանելությունը այս կամ այն սցենարի խմբին: Դա թույլ է տալիս ոչ միայն բացահայտել նորմից շեղումը միավոր փաթեթներում, այլ նաև դուրս բերել փաթեթում ներառված գրոհը: Վերահսկվող ցանցում թրաֆիկի <վարքագիծն> ունի իր կանոնակարգումները: Կանոնակարգումների առկայությունը հանգեցնում է վեկտոր-կերպարների վիճակագրական հատկանիշների, որոնք մոտ են բազմաչափ տարածության մեջ: Հիմնելով այս հատկանիշների վերլուծության վրա՝ պերսպեկտիվային ցանցը տարածությունը բաժանում է երկու մասի՝ նորմալ և ոչ նորմալ: Փաստորեն, տվյալ խնդիրը IP փաթեթների վերնագրերի դասակարգումն է հետևյալ սկզբունքով. կան արդյո՞ք նրանում գրոհի հատկանիշներ, թե՞ ոչ: Քանի որ պերսպեկտիվային կերպար-

ների տարածությունները բաժանում է երկու մասի, նրա ելքային շերտը պետք է բաղկացած լինի երկու նեյրոններից, որոնցից մեկի ակտիվացումը կնաշանկի գրոհի բացակայություն, իսկ մյուսինը՝ դրա առկայություն: Այսպիսով, [1,0] կերպարների ֆայլերի գրանցումը պետք է համապատասխանի նորմալ հատկանիշներին, իսկ [0,1] կհամապատասխանի նորմից շեղմանը [4]:

Տեղեկատվական ցանցերում արտաքին գրոհների հայտնաբերման նպատակով նախագծված է ծրագրային փաթեթ: Նեյրոնային ցանցերի ուսուցման առաջարկվող ծրագրային փաթեթը նախատեսված է հիբրիդային ցանցի՝ կոխոնենային ցանցի և բազմաշերտ նեյրոնային ցանցերի կիրառման համար: Ծրագրային փաթեթը հարմարեցված է ցանցային գրոհների, ինչպես նաև նոր և ձևափոխված գրոհների բացահայտմանը: Այս փաթեթը կազմված է երկու ծրագրից, որոնք միմյանց հետ փոխգործակցում են. առաջինը՝ MATLAB R2008a-ի կիրառությունն է, որը համարվում է փաթեթի հիմնական ծրագիրը: Նրա միջոցով ընտրվում են նեյրոնային ցանցի կառուցվածքը, ուսուցման օրինակների բազմությունը, ցանցի պարամետրերի սկզբնական արժեքների վերագրման եղանակն ու միջակայքը, ուսուցման ալգորիթը, որի հաստատունների ու գործակիցների արժեքների տրման հնարավորությամբ էլ իրականացվում է ուսուցումը: Երկրորդ ծրագիրը՝ NetMon, իրական ժամանակում գրոհների բացահայտման ավտոմատացված միջոցն է, ինչպես նաև իրագործվում է ցանցային փաթեթների հավաք, այնուհետև դրանց ձայնագրում MATLAB-ում՝ բինարային ֆորմատով: NetMon ծրագրի արտաքին տեսքը պատկերված է նկ. 2-ում:



Նկ. 2. NetMon ծրագրի արտաքին տեսքը

Ուսուցման ընտրանքի ֆայլը կարելի է ստեղծել կամ խմբագրել ինչպես ցանկացած տեքստային խմբագիր օգտագործելու ճանապարհով, այնպես էլ NetMon ծրագրի միջոցով: MATLAB ծրագրի կիրառմամբ կարելի է ավտոմատացնել ներդրողային ցանցի ուսուցման գործընթացը: Այն ունի ամբողջ նախագծի բեռնավորման և հիշելու հնարավորություն: Ծրագիրն աշխատում է ուսուցման ընտրանքի և քաջային գործակիցների հետ: Աշխատանքը կազմված է երկու փուլից՝ հիբրիդային ցանցի ուսուցում և գրոհի բացահայտում: Ուսուցման ընտրանքը ստեղծելու համար հավաքում են ցանցային փաթեթները, այնուհետև գրանցվում են դրանք MATLAB-ում՝ բինարային ֆորմատով: Դրա համար օգտագործվում է Matlab Compiler-ի Net հավաքածուն save_vectors.dll ֆայլը:

Իրականացվել է ծրագրային փաթեթի փորձարարական հետազոտումը: Փորձի համար ընտրվել է web տիպային կոնֆիգուրացիա ունեցող սերվեր, որտեղ աշխատեցվում են web, ftp, torrent սերվերներով ծառայություններ: Այդպիսի կոնֆիգուրացիա ունեցող սերվերներն ավելի հաճախակի են հանդիպում և համապատասխանաբար ավելի հաճախ են գրոհի ենթարկվում:

Գրոհների բացահայտման ավտոմատացված միջոցների նախագծված փաթեթի փորձարարական հետազոտումը կազմված է չորս հիմնական փուլերից [5].

1. **Տվյալների հավաքման փուլ:** Ցանցային վերլուծաբան NetMon ծրագրի միջոցով հավաքվել են 33000 հատ ցանցային փաթեթներ, որոնք բնութագրում են (Web, ftp, torrent) ծառայություններ ունեցող սերվերի նորմալ ցանցային թրաֆիկը, 33000 գրոհող ցանցային փաթեթներ, որոնք բնութագրում են FTP-bruteforce գրոհի ցանցային թրաֆիկը, և 33000 ցանցային փաթեթներ, որոնք պարունակում են DDoS գրոհներ (TCP SYN Flood գրոհներ՝ պատահական պորտերի համարներով և գրոյական արժեքներով [6]).

2. **Ուսուցանվող ընտրանքի ձևավորման փուլ:** Ուսուցանվող ընտրանքը ձևավորված է հավաքված ցանցային փաթեթի տվյալներից՝ 12000-ը նորմալ, 12000-ը գրոհող, ընդամենը՝ 24000 փաթեթ, իսկ մնացածը՝ թեստային: Ուսուցանվող ընտրանքի չափսը սահմանվել է, առաջին հերթին՝ հիշողության և ժամանակի չափի հիման վրա, որն անհրաժեշտ է Կոխոնենի ցանցի ուսուցման ամենառեսուրսատար մասի համար:

3. **Ուսուցման փուլ:** Կոխոնենի ցանցի ուսուցանումն իրականացվում է առանձին փաթեթներում: Ուսուցման տևողությունը մոտ հիսուն րոպե է: Բոլոր տվյալները նորմավորվում են $[0,1]$ տիրույթում՝ մինչ Կոխոնենի և բազմաշերտ պերսպեկտիվային ցանցի մուտքագրվելը: Կոխոնենի ցանցն ունի բազմանկյան ներդրողային կապերի կառուցվածք, որն առաջարկվում է MATLAB ծրագրի միջոցով՝ լռելյայն: Կոխոնենի ցանցի չափականությունն է՝ som_x = 25, som_y = 20, ցանցի ներդրողների (կլաստերների) քանակն է՝ som_size = 500: Կոխոնենի ցանցում միասին կապակցող կլաստերների քանակն է՝ cluster_step = 5:

4. **Ճանաչման փուլ:** Ճանաչումն իրականացվում է թեստային ընտրանքի հիման վրա: Հաշվի են առնվում էտալոնին մոտիկ տվյալներ: Ճանաչումը համարվում է հաջող, եթե փաստացի և էտալոնային բացարձակ արժեքների

տարբերությունները յուրաքանչյուր ելքային վեկտորի բաղադրիչի համար չեն գերազանցում 0.3-ը: Կոխոնենի ցանցի ցանցային փաթեթների դասակարգման արդյունքները սխեմատիկորեն բերված են աղյուսակում: Ճանաչման փուլում ստացվում են աղյուսակում բերված արդյունքները:

<i>Աղյուսակ</i>				
	Վեկտորների ընդհանուր քանակը	Որից ճիշտ է դասակարգված	Որից սխալ է դասակարգված	Սխալի տոկոսը
Նորմալ	140	138	2	1,4%
Գրոհ	360	360	0	0%
Ընդհանուր	500	498	2	0,4%

Առաջին կարգի սխալը կազմում է՝ 1,4 %, երկրորդինը՝ 0%, ընդհանուր սխալը՝ 0,4%:

Եզրակացություն. Նախագծվել է գրոհների բացահայտման ավտոմատացված միջոցների մեթոդ, որը հիմնված է մի շարք այլ եղանակների վրա՝ ցանցային թրաֆիկում նորմից շեղման բացահայտում, որը վկայում է գրոհի առկայության մասին: Մեթոդը հնարավորություն է տալիս շտկել դասական մեթոդների թերությունները, մասամբ փոքրացնել գրոհների բացթողման քանակը և բացահայտել նոր և ձևափոխված գրոհներ: Այսպիսով, փորձնականորեն նախագծված մոդելի թեստավորման արդյունքները, որոնք օգտագործվում են երկու տարբեր արհեստական նեյրոցանցի հիման վրա, հնարավորություն են տալիս օգտագործել այն գործնականում: Գրոհի բացթողման հավանականությունը կազմում է 0,001, կեղծ ահազանգինը՝ 0,014: Նշենք, որ արտադրությունը իրական համակարգում կախված կլինի ցանցում մուտքային տվյալների արագությունից և այն էՀՄ-ից, որտեղ պետք է գործի այս ավտոմատացված համակարգը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Лукацкий А.В.** Обнаружение атак. - 2-е изд., перераб. и доп.-СПб.: БХВ-Петербург, 2003. - 564 с.
2. **Медведовский И. Д. Семьянов П.В., Платонов В.В.** Атака через Интернет / НПО "Мир и семья-95", 1997. - 147с.
3. **Лукацкий А.В.** Новые подходы к обеспечению информационной безопасности сети //Компьютер-Пресс. - 2000.-N7. 140с.
4. **Markarov Vahan, Ghazaryan Armen.** Detection of distributed attacks based on hybrid neural networks // Proceedings of the 2010 International Conference on Security & Management- SAM 2010.- July 12-15, 2010 Las Vegas Nevada, USA, 2 Volumes. CSREA Press 2010, ISBN 1-60132-163-5, 589-593.
5. **Казарян А.Ю.** Выявление распределенных атак в компьютерных сетях // Вестник Государственного инженерного университета Армении (ВГИУА). Серия "Моделирование, оптимизация, управление". - Ереван, 2010. – Вып. 13, том 1. - С. 46 –50.

ՀՊՀՀ (Պ): Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 10.04.2011:

А. Ю . КАЗАРЯН

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СРЕДСТВ ОБНАРУЖЕНИЯ
СЕТЕВЫХ АТАК В ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЯХ ПОСРЕДСТВОМ
ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОСЕТЕЙ**

В целях выявления внешних атак в информационных сетях спроектирован программный пакет. В программном пакете использованы искусственные сети, с помощью которых можно выявить новые и модифицированные атаки.

Ключевые слова: распространенные атаки, гибридная сеть, автоматизированные средства.

A.Yu. Ghazaryan

**DESIGNING OF NETWORK ATTACK BY AUTOMATED SENSORS BY MEANS
OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS**

To reveal external attacks in information networks, a software package is designed. Artificial networks are used and with their help it is possible to reveal the new and modified attacks.

Keywords: widespread attacks, hybrid network, automated facilities.

Հ.Ա. ՓԻՐՈՒՄՅԱՆ

ԿԱՐԿՏԱԲԵՐ ԱՄՊԵՐԻ ՄԻԿՐՈԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԱՅԻՆ
ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՄԱՆ
ՌԱԴԻՈՋԵՐՄԱԼՈԿԱՑԻՈՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳ

Ներկայացված են ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և Էլեկտրոնիկայի ինստիտուտում մշակված, իրականացված ԳԲՀ բազմուղի ($\lambda_1=0,8$ սմ, $\lambda_2=1,35$ սմ, $\lambda_3=2$ սմ, $\lambda_4=5$ սմ) ռադիոջերմավակցիոն, ռադիոլուկացիոն ($\lambda=3,2$ սմ) հակակարկտային համակարգի տեխնիկական բնութագրերը: Համակարգը ներառում է չորս երկուղի մոդուլյացիոն ռադիոմետրեր՝ համակցված նշված ալիքի երկարությունների ռադիոճառագայթումների փոխադրահայաց բաղադրիչների միաժամանակյա ընդունման բազմահաճախային, համատեղված ճառագայթիչի և Կա-սեգրենի տիպի երեքմետրանոց հայելու հետ:

Առանցքային բառեր. ռադիոջերմավակցիա, մոդուլյացիոն ռադիոմետր, բազմուղի համատեղված ճառագայթիչ, միկրոբյուրեղային ցանքս:

Կարկուտը համընդհանուր պատուհաս է, և, համաձայն մեծ թվով վիճակագրությունների, հասարակությանը հասցրած նրա տարեկան վնասը համաչափելի է (եթե ոչ գերազանցող) այլ գլոբալ աղետների հասցրած վնասին: Հաշվի առնելով մարդկության առջև ծառացած ահագնացող պարենային հիմնախնդիրը՝ հակակարկտային պայքարի արդիականությունն առավել քան անվիճելի է, և այդ պայքարի հիմնական ուղղություններից մեկը ամպերի՝ միկրոբյուրեղային ցանքսի նկատմամբ զգայուն ռադիոբնութագրերի և օդերևութաբնութագրերի չափման արդյունքների վերլուծությունն է: Բնութագրերի վրա ցանքսի ազդեցության հսկողությունը հիմնված է, բյուրեղային ռեզոնանսի ներմուծմամբ պայմանավորված, ամպում պարունակվող ջրի փուլային անկայունության վրա: Այդ անկայունությունն իր հերթին հետևանք է գերսառած կաթիլի հետևյալ ֆիզիկական հատկությունների [1].

- ամպում խոշորակաթիլ տիրույթներին հատուկ է բարձր անդրադարձում և ճառագայթում (կլանում),

- կաթիլների բյուրեղային փուլին անցման պահին սառցե մասնիկների տիրույթն օժտված է բարձր անդրադարձման և ցածր ճառագայթման (կլանման) հատկությամբ, ընդամենը, միևնույն ջրապարունակության և ջերմաստիճանի պայմաններում, հեղուկից բյուրեղային փուլին անցման սկզբնական հատվածում ճառագայթումը (կլանումը), կաթիլային վիճակի հետ համեմատած, կարող է փոքրանալ մինչև երկու կարգով [2],

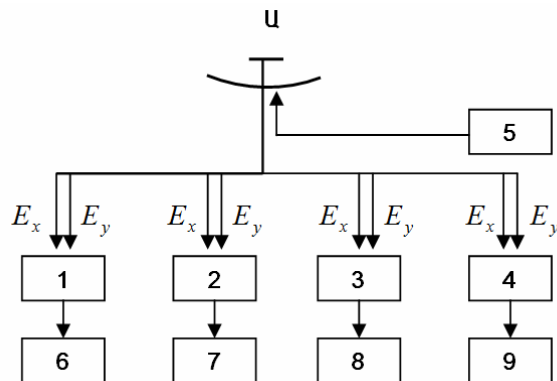
- գերսառած հեղուկ-բյուրեղային փուլ անցումն ուղեկցվում է սեփական ռադիո-ճառագայթման բնեռացման փոփոխությամբ,

• ամպում, գերսառած տիրույթի թերմոդինամիկական ջերմաստիճանի անկմանը զուգընթաց ճառագայթումն (կլանումը) աճում է:

Գերսառած տիրույթներով ամպում ռադիոալիքների տարածման հետազոտությունները ցույց են տվել, որ նշված ոչ բնականոն երևույթն առավել ցայտուն ի հայտ է գալիս որոշակի տրամագծով ($1,5 \text{ մմ} < d < 3,5 \text{ մմ}$) կաթիլների և դրանց որոշակի ջերմաստիճանի ($t = -8^\circ \text{C}$) դեպքում [3,4]:

Ստորև ներկայացված են ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի ինստիտուտի կիրառական ռադիոֆիզիկայի լաբորատորիայում մշակված, իրականացված ԳԲՀ բազմուղի ($\lambda_1 = 0,8 \text{ սմ}$, $\lambda_2 = 1,35 \text{ սմ}$, $\lambda_3 = 2 \text{ սմ}$, $\lambda_4 = 5 \text{ սմ}$) ռադիոջերմալույկացիոն, ռադիոլուկացիոն ($\lambda = 3,2 \text{ սմ}$) համակարգի տեխնիկական բնութագրերն ու որոշ նախնական չափումների արդյունքները:

Համակարգը չորս երկուղի մոդուլյացիոն ռադիոմետրեր են՝ համակցված Կասեգրենի տիպի երեքմետրանոց հալելու (նկ.1) և նշված ալիքի երկարությունների ռադիոճառագայթման փոխուղղահայաց բաղադրիչների միաժամանակյա ընդունման բազմահաճախային, համատեղված ճառագայթիչի հետ: Հարկ է նշել, որ ռադիոհաճախությունների ինչպես ակտիվ լուկացիայի, այնպես էլ ռադիոմետրական չորս տիրույթներում ապահովվել է ռադիոդիտակի համարյա նույն ուղղվածության դիագրամը, ինչը հիմք է տալիս տարբեր հաճախություններում չափված ռադիոտեխնիկական բնութագրերի համատեղ վերլուծությունը համարել ճշտորոշված:



Նկ.1. Հակակարկտային համակարգի կառուցվածքային սխեմա: Ա-բազմահաճախային ալեհավաք, 1-4- $\lambda = 0,8 \text{ սմ}$, $1,45 \text{ սմ}$, 2 սմ , $4,8 \text{ սմ}$ ալիքի երկարության մոդուլյացիոն ռադիոմետրեր, 5- $\lambda = 3 \text{ սմ}$ ալիքի երկարության իմպուլսային գեներատոր, 6-9-գրանցող սարքեր

Աղ. 1-ում ներկայացված են երկուղի մոդուլյացիոն ռադիոմետրերի տեխնիկական բնութագրերը:

Բնութագրերի անվանումը	Չափման միավոր	ՄՌ-0,8	ՄՌ-1,45	ՄՌ-2	ՄՌ-4,8
1. Աշխատանքային հաճախություն	<i>ԳՀց</i>	37	20,7	15	6,25
2. Հաճախության սխալանք	%	0,3	0,3	0,2	0,2
3. Զգայնություն, $\tau = 1 \text{ ս}$	<i>սսսս.</i>	0,08	0,05	0,15	0,1
4. Ժամանակի հաստատուն	<i>վ</i>	1,4,9	1,4,9	1,4,9	1,4,9
5. Թողարկման շերտ	%	3	4	0,5	1,2
6. Միջակա հաճախություն	<i>ՄՀց</i>	500	500	45	45
7. ՄՀՌԻ թողարկման շերտ	<i>ՄՀց</i>	800	800	70	70
8. 0-ի շերտում, $t = 30 \text{ րոպ}$	<i>սսսս.</i>	0,2	0,2	0,15	0,15
9. Ոչ զգայնություն	%	1	1	1	1
10. Անընդմեջ աշխատաժամանակ	<i>Ժամ</i>	8	8	8	8
11. Աշխատանքային ռեսուրս	<i>Ժամ</i>	3000	3000	3000	3000

Նախնական չափումների ընթացքում գնահատվել են, ռեագենտային ցանքսի ազդեցությամբ պայմանավորված, ամպի տվյալ տեղամասի սեփական ջերմային ճառագայթման փոփոխությունները (ΔT_a), և ինտեգրալ ջրապարունակությունը (L)՝ նրա անդրադարձման որոշակի տիրույթից:

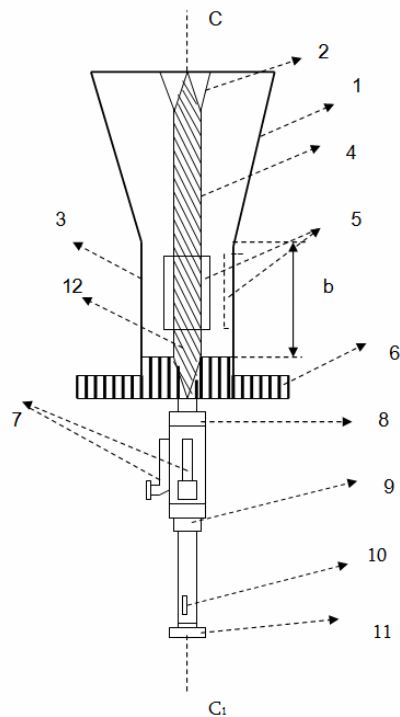
Ցանքսի նկատմամբ ամպի միկրոկառուցվածքի արձագանքն ուսումնասիրելու նպատակով կատարվել են ռադիոարձագանքի չափումներ ուղղահայաց կտրվածքով, տեղի անկյան $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ արժեքների և ազիմուտի դիսկրետ արժեքների դեպքում՝ անդրադարձման տիրույթում և հատուկ ուշադրություն դարձնելով ամպի այն տեղամասին, որը ենթարկվում է ակտիվ լուկացիայի:

Հակակարկտային համակարգի բազմահաճախային, համատեղված ճառագայթիչը (նկ.2) նախագծվել և իրականացվել է չորս՝ $\lambda_1=4,8 \text{ սմ}$, $\lambda_2=2 \text{ սմ}$, $\lambda_3=1,45 \text{ սմ}$, $\lambda_4=0,8 \text{ սմ}$ ընդունող և մեկ՝ $\lambda_5=3 \text{ սմ}$ ճառագայթող (ակտիվ) ալիքի երկարության տիրույթներում միաժամանակյա աշխատանքի համար: λ_1 և λ_5 տիրույթներում աշխատանքն ապահովվում է կոնական խոսափողի 1 շարունակություն կազմող կլոր ալիքատարից (3), նույն հարթության մեջ փոխուղղահայաց $28,6 \times 12,5 \text{ սմ}$ և $23 \times 10 \text{ սմ}$ ուղղանկյուն բացվածքներով (5): Կլոր ալիքատարը վերջանում է կարճ միացման խցանով (6), իսկ b հեռավորությունն ընտրվում է կլորից ուղղանկյուն ալիքատարներ ազդանշանի օպտիմալ թափանցման պայմանից:

λ_2 և λ_3 տիրույթի ճառագայթիչը բաղկացած է կոնական բացվածքից (2), դիէլեկտրիկով լցված կլոր ալիքատարից (4), առաջին չեբիշևյան անցումից (8) դեպի $18 \times 8 \text{ սմ}$ ուղղանկյուն կտրվածքով ալիքատարներից (7), երկրորդ չեբիշևյան անցումից դեպի 8 սմ տիրույթի կլոր ալիքատար (9) և ձեռքային ճյուղավորիչներից դեպի $7,2 \times 3,4 \text{ սմ}$

ուղղանկյուն ալիքատարներ (10): Այս ճառագայթիչն անցնում է նախորդի CC_1 առանցքով և, դիէլեկտրիկով ($\varepsilon = 2,6$) լցված լինելու շնորհիվ, արտաքին խոսափողը մթազնում է ոչ ավել, քան 8% -ով: Ընդհանուր ճառագայթի մանրակրկիտ հաշվարկը բերված է [5]-ում:

Ցանկացած ճառագայթի բնականոն աշխատանքի հիմնական ցուցանիշը փոխուղահայաց բաղադրիչների միջև լավ կապագերծման և ազատ տարածության հետ համաձայնեցման ապահովումն է:



Նկ.2. Բազմահաճախային, համատեղված ճառագայթի գծապատկերը. 1,2 - կոնական խոսափողեր, 3,4-կլոր ալիքատարներ, 5 - λ_1 և λ_2 տիրույթի ալիքատարային ճյուղավորումներ, 6,11-կարճ միացման խցաններ, 7 - λ_3 տիրույթի փոխուղահայաց ուղղորդված ճյուղավորիչներ, 8,9- կլոր ալիքատարի չեփիչկյան անցումներ, 10- λ_4 ալիքի փոխուղահայաց ճյուղավորիչներ

Աշխատանքային չորս հաճախություններում ճառագայթի կանգուն ալիքի գործակիցների (ԿԱԳ) չափման արդյունքները ներկայացված են աղ. 2-ում, որտեղ γ -ն տվյալ ալիքի երկարության փոխուղահայաց բաղադրիչների միջև կապագերծման

գործակիցն է, իսկ $\Delta f/f$ -ը՝ հարաբերական թողարկման հաճախականային շերտը:

Կանգուն ալիքի գործակիցները

	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4
	15	10	10	7
$\Delta f/f, \%$				
ԿԱԳ	1,3	1,5	1,5	1,7
γ, η^F	≥ 25	≥ 25	≥ 20	≥ 20

Դիտման և չափումների շարադրված եղանակը բավականին արդյունավետ է ամպի օդերևութաչափորոշիչների (ինտեգրալ և միջին ջրապարունակություն, հեղուկ-բյուրեղ փուլային կառուցվածք) և ռադիոբնութագրերի (սեփական ջերմային ճառագայթում, կլանում, մարում) բաշխման գործուն գնահատման համար, ինչը ժամանակին և ճիշտ տեղում ցանքս կատարելու գրավականն է:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Федченко Л.М., Тлисов М.И., Калов В.Г., Бочарова В.А.** Борьба с градом: состояние и перспективы // Труды ВГИ.- 1989.-Вып. 74. - С. 5-18.
2. **Станкевич К.С.** Определение водности облаков с помощью радиоастрономических измерений// Изв. АН СССР. Сер. Физика атмосферы и океана.- 1968.- Т. IV, № 8.- С. 902-905.
3. **Кармов Х.Н.** СВЧ радиолокационно-радиометрические методы определения фазовой структуры конвективных облаков// Труды ВГИ.- 1989.- Вып. 74.- С. 76-85.
4. **Шифрин К.С., Черняк М.М.** Тепловое излучение капель воды в микроволновой области// Изв. АН СССР. Сер. Физика атмосферы и океана.- 1974.- № 10.- С. 1107-1109.
5. **Фельдштейн А.Л., Явич Л.Р., Смирнов В.П.** Справочник по элементам волноводной техники.- М.: Сов. радио, 1967.

ՀՀ ԳԱԱ ՌՖԷԻ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 11.05.2011:

Г.А. ПИРУМЯН

**РАДИОТЕПЛОЛОКАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
МИКРОСТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГРАДОВЫХ ОБЛАКОВ**

Представлены технические характеристики и результаты некоторых предварительных исследований разработанного и изготовленного в ИРФЭ НАН РА СВЧ многоканального ($\lambda_1=0,8$ см, $\lambda_2=1,35$ см, $\lambda_3=2$ см, $\lambda_4=5$ см) радиотеплолокационного противоградового комплекса. Комплекс состоит из четырех двухканальных модуляционных радиометров, подключенных к многоканальному совмещенному облучателю трехметрового зеркала касегреновского типа, обеспечивающего одновременный прием ортогональных компонент принимаемого радиосигнала.

Ключевые слова: радиотеплолокация, модуляционный радиометр, многоканальный совмещенный облучатель, микрокристаллический посев.

H.A. PIRUMYAN

**A HEAT-SEEKING SYSTEM FOR HAIL CLOUDS MICROSTRUCTURAL
PARAMETER STUDYING**

The technical characteristics and results of some preliminary studies of microwave multichannel ($\lambda_1=0,8$ cm, $\lambda_2=1,35$ cm, $\lambda_3=2$ cm, $\lambda_4=5$ cm) heat-seeking hail fighting complex designed and manufactured in the laboratory of Applied Radiophysics IRPHE NAS RA are presented. The complex consists of four two-channel modulation radiometers connected to a multichannel combined feed three-meter mirrors of Kasegrenov type that provides simultaneous reception of the orthogonal components of the received radio signal.

Keywords: heat-seeking, modulation radiometer, multichannel combined feed, microcrystalline seeding.

А.А. НЕРСЕСЯН, М.В. МАРКОСЯН, А.С. САРГСЯН

**РАЗРАБОТКА ПАКЕТА ПРОГРАММ ОБРАБОТКИ
РЕЗУЛЬТАТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ
ПАРАМЕТРОВ АНТЕНН В ЗОНЕ ИХ РАСКРЫВА**

Разработан пакет программ обработки результатов, полученных при измерении параметров антенн в зоне раскрыва, в частности, трехмерная диаграмма направленности антенны, уровень боковых лепестков, коэффициент усиления.

Ключевые слова: зона раскрыва, ближняя зона, диаграмма направленности, амплитудно-фазовое распределение.

Отличительными особенностями антенных измерений являются высокие требования к их точности и метрологическому обеспечению, к быстродействию и автоматизации процесса измерений. Кроме того, постоянно растут потребности в расширении динамических диапазонов измерительной аппаратуры, увеличении частотных диапазонов и угловых секторов измерений диаграмм направленности (ДН) и других параметров [1,2].

Успешное решение указанных вопросов связано с созданием новых методов и комплексов автоматической измерительной аппаратуры. К ним относятся методы и средства измерений в зоне раскрыва пространственных антенн [1], получившие за последние десятилетия широкое применение вследствие их высокой эффективности.

В литературе [1], в основном, описываются методы получения ДН антенны в двух главных плоскостях: Е и Н. Это объясняется сложностями, связанными с обработкой больших массивов данных, представленных в виде матриц, которые в результате обработки преобразовываются в соответствующие векторы по направлениям двух главных плоскостей.

Известные программные средства реализовывают вышеприведенные подходы.

Настоящая статья посвящена представлению разработанной программы, позволяющей определить характеристики антенн на основе измерений по полю в зоне их раскрыва, в том числе получить ДН антенн в трехмерном пространстве.

Исходя из понятий зоны раскрыва [1], ее условными границами являются

расстояния от антенны, равные соответственно $\frac{\lambda}{2} \dots 0,6D\sqrt{\frac{D}{\lambda}}$, где λ - длина

волны, D - диаметр (размер) раскрыва антенны.

Как показано в [1], получение ДН и других характеристик антенн методами измерений поля в зоне раскрыва имеет ряд очевидных преимуществ по сравнению с методами измерений в других зонах (дальняя зона и зона Френеля).

В совокупности общая эффективность метода измерений в зоне раскрыва выше на 2...3 порядка, в чем и заключается вся его привлекательность.

Данный метод имеет следующие недостатки:

- требуется более сложная дорогостоящая аппаратура;
- требуется более сложная обработка результатов.

Сложность обработки результатов заключается в необходимости проведения интегральных преобразований или расчета двойных сумм [1].

Современные пакеты программ моделирования, такие как, например, MATLAB [3], позволяют упростить представление расчетных формул, ускорить процесс их расчетов и графическое представление результатов, в частности, в трехмерном пространстве.

Предлагаемый пакет программ на базе MATLAB позволяет рассчитывать ДН антенны, обрабатывать результаты измерения антенны в зоне раскрыва (амплитудно-фазовое распределение - АФР) и представлять ее в трехмерном пространстве.

АФР представляет собой таблицу, в которой указаны значения амплитуд и фаз в каждой измеренной точке раскрыва антенны. Для того чтобы получить ДН антенны, измеренной в зоне раскрыва, необходимо в программу ввести только таблицу амплитуд и фаз. Время расчета не зависит от количества элементов в таблице (точек измерения), но зависит от компьютера, на котором ведется расчет. Расчет ДН антенны ведется по формуле [1]

$$E(x, y) = \left(\frac{1}{\sqrt{M \times N}} \right) \times \sum_{X_s=0}^M \sum_{Y_s=0}^N U(X_s, Y_s) \times \exp(-2\pi j(X \times X_s + Y \times Y_s)), \quad (1)$$

где M, N - число элементов в строке и в столбце соответственно;

$X = (\sin\theta \times \cos\varphi)/\lambda$, $Y = (\sin\theta \times \sin\varphi)/\lambda$ - пространственные частоты; θ, φ - углы

сферической системы координат; λ – длина волны; X_s, Y_s – координаты точки в

плоскости измерений; $U(X_s, Y_s)$ – значение радиоголограммы для каждой точки на

плоскости измерений.

Имеются две матрицы: фаз и амплитуд, которые заполняются результатами измерений автоматически. Размеры матриц задаются пользователем исходя из требуемого количества измеряемых точек.

Предположим, что $M=10$, $N=40$. Будем считать, что амплитудное распределение имеет вид параболы на пьедестале (спадающий по краям). После того, как создадим матрицы распределений, можно рассчитать ДН антенны. ДН антенны в трехмерном изображении показана на рис. 1.

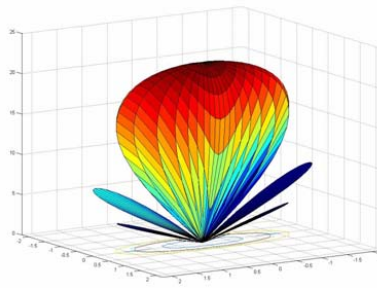


Рис. 1. Трехмерная ДН антенны

Программа позволяет поворачивать ДН антенны под любым углом. Кроме того, при необходимости, можно построить ДН антенны в двухмерном изображении и в плоскости Н, и в плоскости Е (рис. 2 и 3 соответственно).

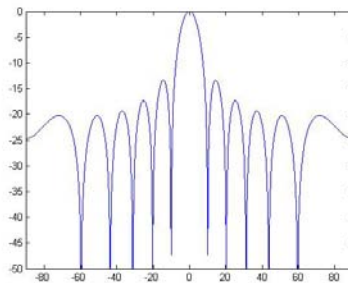


Рис. 2. ДН антенны в плоскости Н

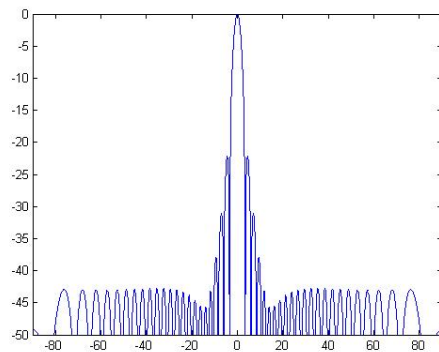


Рис. 3. ДН антенны в плоскости E

Программы, выполняемые на ПК Core 2 Quad Q9300 2.5GHz с оперативной памятью 4GHz, производят все необходимые расчеты за 6 с. В случае известных до сих пор измерительных комплексов третьего поколения, разработанных в Научно-исследовательском институте радиофизики (НИИР) для измерения параметров антенн в ближней зоне, время обработки результатов зависит от количества измеренных точек. Предлагаемая модель обработки результатов измерений антенн в ближней зоне имеет ощутимое преимущество в быстродействии, поскольку время обработки результатов не зависит от количества точек, измеренных в ближней зоне. Это обеспечивается проведением вычислений во время измерения. Для сравнения, обработка результатов 360000 измеренных точек занимает около 5 мин на измерительном комплексе третьего поколения.

Так как скорость расчетов приемлема, программа позволяет произвести обработку результатов измерения для больших антенн, при этом время расчета будет неизменным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ջերուսի Պ.Ս.** Բացվածքի գոտում անտենային բնութագրերի ավտոմատ չափումներ.- Երևան, 2010. – Շ 3-31
2. **Бахрах Л.Д., Геруни П.М., Курочкин А.П., Арутюнян Д.С.** Оптическое моделирование диаграмм направленности антенн по радиоголограмме поля в их раскрые // Антенны.- М.: Связь, 1972. – N 14. – С. 25-34.
3. <http://www.mathworks.com/>

Եր.НИИ средств связи. Материал поступил в редакцию 12.03.2011.

Հ.Ա. ՆԵՐՍԵՍՅԱՆ, Մ.Վ. ՄԱՐԿՈՍՅԱՆ, Ա.Ս. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

ԲԱՑՎԱԾՔԻ ԳՈՏՈՒՄ ԱՆՏԵՆԱՆԵՐԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ԶԱՓՈՒՄԻՑ ՍՏԱՑՎԱԾ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԻ ՄՇԱԿՄԱՆ ԾՐԱԳՐԱՅԻՆ ՓԱԹԵԹԻ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄ

Ներկայացված է մերձակա գոտում անտենաների պարամետրերի չափումից ստացված արդյունքների մշակման ծրագրային փաթեթ, մասնավորապես՝ անտենայի եռաչափ ուղղվածության դիագրամը, կողային թերթիկների մակարդակը, ուժեղացման գործակիցը:

Առանցքային բառեր. բացվածքի գոտի, մերձակա գոտի, ուղղվածության դիագրամ, ամպլիտուդափուլային բաշխվածություն:

H.A. NERSESYAN, M.V. MARKOSYAN, A.S. SARGSYAN

DESIGN OF PROGRAM PACKAGE ON DEVELOPMENT OF RESULTS OBTAINED IN ANTENNA PARAMETER MEASUREMENT IN APERTURE ZONE

The program package on development of results obtained in antenna parameters measurement in aperture zone is presented. Particularly, 3D antenna directional pattern, the side lobe level and gain coefficient are obtained.

Keywords: aperture zone, near field, directional pattern, amplitude-phase distribution.

Ա.Ա. ՍԱՆՈՅԱՆ

ՀԵՌԱՎՈՐ ՕԲՅԵԿՏՆԵՐԻ ՎԵՐԱՀԱՄԱՐՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳ

Նկարագրված է ազդանշանային համակարգ, որը կատարում է հեռավոր օբյեկտների պարամետրերի չափում և հաղորդում է տեղեկությունը գլխավոր կայան: Փաթեթային կողավորված ազդանշանը հաղորդվում է նախօրոք ընտրված թույլատրելի ռադիոհաճախականություններից մեկով և պարունակում է տեղեկություն տարբեր տիպի տվիչների մասին:

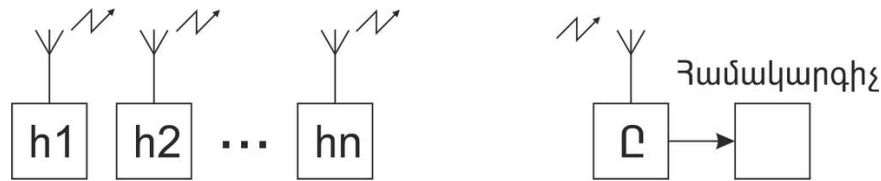
Առանցքային բառեր. հաղորդիչ, ընդունիչ, փաթեթային կողավորում, միկրոկառավարիչ, տվիչ:

Ինչպես հայտնի է, ջերմոցներում անհրաժեշտ միկրոկլիմա հաստատելը փոխ-հատուցվում է բարձր բերքատվությամբ և առողջ պտուղներ ստանալով: Կան մի շարք ավտոմատ համակարգեր, որոնք ստուգում են ջերմոցի հիմնական պարամետրերը (ջերմաստիճան, հարաբերական խոնավություն, որոշ դեպքերում նաև լուսավորություն) և իրականացնում համապատասխան դեկավարում [1]: Շատ հաճախ անհրաժեշտ է լինում օպերատորին տեղեկություն հաղորդել ջերմոցի կլիմայի մասին, որը գտնվում է մի քանի տասնյակ մետր հեռավորության վրա:

Այդ նպատակով մշակվել և պատրաստվել է համակարգ, որը ջերմոցի որոշակի ստուգիչ կետերում տեղադրված հարաբերական խոնավության և ջերմաստիճանի տվիչներից եկած տեղեկությունը հաղորդում է օպերատորին: Ստուգիչ կետերի դիրքն ընտրվում է՝ ելնելով ջերմոցի չափերից և երկրաչափությունից: Մեկ սեկտորում այդպիսի կետերի թիվը կարող է հասնել ութի:

Համակարգը բաղկացած է 255 հաղորդիչ (h1, h2,..., hn) և մեկ ընդունիչ (C) մոդուլներից (նկ.1): Վերջինս միանում է համակարգչին՝ տվիչներից եկած ազդանշանները մշակելու և արտապատկերելու համար: Հաղորդիչներից մինչև ընդունիչ հեռավորությունը՝ առանց լրացուցիչ ռադիո-ռեկեյսին գծի օգտագործման, կազմում է մոտ 200 մ և կախված է միջավայրի պայմաններից և հաղորդիչ-ընդունիչ անտենաների դասավորությունից:

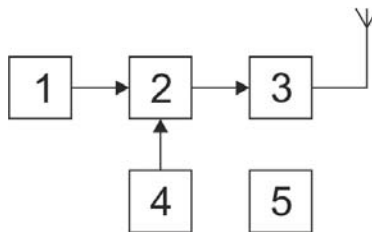
Ամեն մի հաղորդիչ ունի իր հերթական համարը, որը նախօրոք մուտքագրվում է միկրոկառավարչի հիշողության մեջ, հաղորդչի տեղադրման պահին և ցանկացած ժամանակ ենթակա է փոփոխության:



Նկ.1. Ազդանշանի հաղորդման համակարգի կառուցվածքային սխեման

Ըստ այդ համարների՝ համակարգիչը հաջորդաբար իր հիշողության մեջ է գրանցում և էլեկտրոնային քարտեզի վրա դասավորում հաղորդիչները: Համարակալումն իրականացվում է 1-ից մինչև 255:

Հաղորդչի կառուցվածքային սխեման պատկերված է նկ. 2-ում, որտեղ թվերով նշված են. 1-ջերմաստիճանի և հարաբերական խոնավության տվիչը, 2-միկրոկառավարիչը, այն դեկավարող 4-փոխանջատիչների բլոկը, 3-ռադիոհաղորդիչ հանգույցը և 5-սնման հանգույցը (լարման քիմիական աղբյուր):



Նկ.2. Հաղորդչի կառուցվածքային սխեման

Որպես ջերմաստիճանի և հարաբերական խոնավության տվիչ ընտրվել է SENSIRION ընկերության կողմից արտադրված SHT75 տվիչը [2], որի հիմանական պարամետրերը բերված են աղյուսակում:

Աղյուսակ

	Հարաբերական խոնավություն	Ջերմաստիճան
Չափման տիրույթը	0...100 %	-40...+123,8 °C
Չափման ճշտությունը	± 3 %	± 0,3 °C
Մնման լարումը	2,4...5,5 Վ	
Ծախսվող հզորությունը	Հերթապահ ռեժիմ	2 մՎտ
	Ակտիվ ռեժիմ	3 մՎտ

Միկրոկառավարիչ ընտրվել է ATMEL ընկերության արտադրած ATmega165P գերփոքր հզորությամբ կառավարիչը, որն ակտիվ ռեժիմում ծախսում է 330 մկԱ հոսանք, իսկ հերթապահ ռեժիմում՝ 0,6 մկԱ:

Ռադիո-հաճախականության հաղորդիչ է ընտրվել MELEXIS ընկերության TH7122 ինտեգրալ սխեման, որն աշխատում է նաև ընդունման ռեժիմում: Ստորև ներակայացված են TH7122-ի հիմնական պարամետրերը.

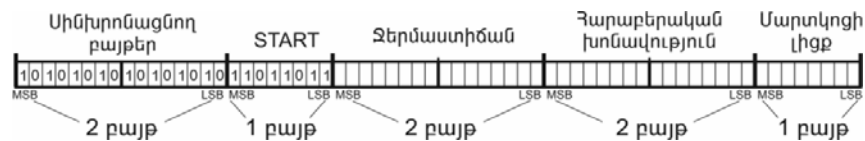
• հաճախականային տիրույթը	27...930 ՄՀց
• սնման լարումը	2,2...5,5 Վ
• աշխատանքային ջերմաստիճանը	-40...+85 °C
• սպառող հոսանքը հաղորդման ռեժիմում	12 մԱ
• սպառող հոսանքը ընդունման ռեժիմում	6,5 մԱ
• սպառող հոսանքը հանգստի ռեժիմում	50 նԱ
• ընդունման զգայնությունը	-105 դբմ
• ճառագայթող հզորությունը	+10 դբմ
• մոդուլյացիայի տիպերը	ASK/FSK/FM

Հաղորդող մոդուլն աշխատում է հետևյալ կերպ: Տեղադրման ժամանակ դեկավարող փոխանջատիչների բլոկի միջոցով միկրոկառավարիչ են մուտքագրվում տվյալ հաղորդիչ մոդուլի պարամետրերը՝ հերթական համարը, ջերմաստիճանի և հարաբերական խոնավության շեմային արժեքները: Միկրոկառավարիչը երկու բույս պարբերությամբ դուրս է գալիս հերթապահ ռեժիմից և մտնում է ակտիվ ռեժիմ: Կատարում է չափումներ տվիչից, ստուգում մարտկոցի լիցքը, համեմատում ստացված արժեքները հիշողության մեջ նախօրոք մուտքագրված շեմային արժեքների հետ և, եթե չափման արժեքները դուրս են գալիս մուտքագրված շեմային արժեքների միջակայքից, ապա միացնում է ռադիոհաղորդիչը, հաղորդում ստացված արդյունքները և նորից անցնում հոսանքի խնայման ռեժիմին:

Միկրոկառավարիչը տվիչին միանում է I2C թվային ինտերֆեյսով [3], որի հետ տվյալների փոխանակման արագությունը հավասար է 100 կբ/թվ-ի:

Հաղորդիչ մոդուլների սնումն իրականացվել է չորս հատ AAA չափսի մարտկոցներով, որոնք ապահովել են մոդուլի կայուն աշխատանքը 3 ամիս տևողությամբ:

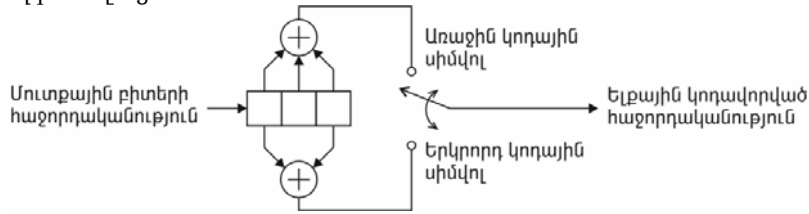
Նկ.3-ում պատկերված է հաղորդվող ազդանշանի տեղեկատվական հաջորդականությունը:



Նկ.3. Հաղորդվող ազդանշանի տեղեկատվական հաջորդականությունը

Աղմկակայունությունը մեծացնելու նպատակով այս ազդանշանը նախ ենթարկվում է փաթեթային կոդավորման (նկ.4)՝ ըստ (2,1) կոդավորիչի [3], այնուհետև առջևից ավելացվում են երկու սինխրոնացնող բայթեր և մեկ “START” բայթ:

Փաթեթային կոդավորիչը բաղկացած է եռակարգ տեղաշարժող ռեգիստրից (կոդավորման սահմանափակման երկարությունը՝ $K=3$), ըստ մոդուլ երկուսի՝ երկու հատ գումարիչներից ($n=2$), ինչպես նաև առաջին և երկրորդ կոդային սինվոլները կցագրող բանալուց:



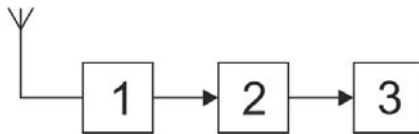
Նկ.4. Փաթեթային կոդավորիչ (կոդավորման աստիճանը $1/2$, $K=3$)

Հետևյալ կոդավորիչում տեղեկատվական բիթերն ամեն անգամ տեղաշարժվում են մեկ կարգով ($k=1$), հետևաբար կոդավորիչի կոդավորման աստիճանը կլինի՝

$$S=k/n=1/2 : \quad (1)$$

Ամեն մի նոր հաղորդվող բիթ տեղադրվում է տեղաշարժող ռեգիստրի առաջին կարգում (նկ.4-ում ձախից առաջին), իսկ ռեգիստրում եղած բիթերը տեղաշարժվում են մեկ կարգով դեպի աջ: Այնուհետև գումարիչները կատարում են ռեգիստրի համապատասխան կարգերի գումարում ըստ մոդուլ 2-ի, որից հետո փոխանջատիչը ելքում դիսկրետացնում է գումարիչների ելքային արժեքները (սկզբում վերցնում է վերին գումարիչի արժեքը): Արդյունքում՝ ձևավորվում են կոդային սինվոլների զույգեր, որոնց արժեքները կախված են ամեն մի մուտքագրվող բիթի արժեքից:

Ընդունող մասը տեղադրվել է հսկվող օբյեկտից 200 չ/հեռավորության վրա: Այն բաղկացած է ռադիոընդունիչից, միկրոկառավարչից և համակարգչից (նկ.5): Ընդունող մասի սնումն իրականացվում է համակարգչի ներքին լարման աղբյուրից:

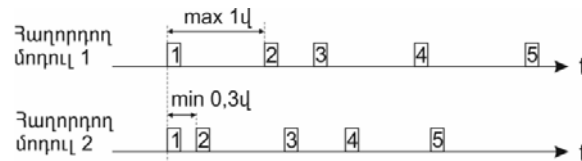


Նկ.5. Ընդունող մասի կառուցվածքային սխեման

TH7122 ինտեգրալ սխեման այս դեպքում աշխատում է ընդունիչի ռեժիմում, իսկ միկրոկառավարիչը կատարում է ընդունված ազդանշանի դեկոդավորում Վիտերբիի ալգորիթմով [3] և ստացված բայթերը RS232 ինտերֆեյսով ուղարկում

համակարգիչ՝ հետագա մշակման համար: Համակարգչում տեղադրված ծրագրային ապահովումն առանձնացնում է ստացված բայթերը և էկրանի վրա պատկերում հաղորդչի հերթական համարը և ընդունված պարամետրերը (ընթացիկ ջերմաստիճանը, հարաբերական խոնավությունը և մարտկոցների լիցքը):

Քանի որ կա հավանականություն, որ երկու հաղորդիչ կաշխատեն միաժամանակ, և արդյունքում՝ ընդունիչը չի կարող դեկոդավորել դրանցից ոչ մեկի ազդանշանը, ապա մշակվել է ալգորիթմ, որը կփոքրացնի նման երևույթի հավանականությունը: Ալգորիթմի էությունն այն է, որ հաղորդիչ մոդուլը 0,3-ից մինչև 1 վայրկյան ժամանակահատվածների ընդհատումներով 5 անգամ կատարում է ազդանշանի հաղորդում: Նկ.6-ում պատկերված է դեպք, երբ երկու հաղորդող մոդուլ միաժամանակ սկսում են ազդանշանի հաղորդումը:



Նկ.6. Հաղորդվող ազդանշանների ժամանակային տարանջատումը

Այդ դեպքում առաջին անգամ հաղորդվող ազդանշանները չեն կարող դեկոդավորվել ընդունիչի կողմից, իսկ մյուս չորսը կարող են:

Մշակված համակարգը տեղադրման պարզության և ծրագրավորման ճկունության շնորհիվ կարող է կիրառվել նաև այլ ոլորտներում, ինչպես նաև կարող է հաղորդել տեղեկություն այլ տիպի տվիչներից:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Тигранян Р.Э.** Микроклимат. Электронные системы обеспечения. -М.: ИП Радио Софт, 2005.- 112 с.
2. **Фрайден Дж.** Современные датчики: Справочник. Мир электроники. - М., 2005.-592 с.
3. **Бернард Скляр.** Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. - М., 2003. - 1104 с.

ՀՀ ԳԱԱ ՌՖԷԻ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 11.04.2011:

А.А. САНОЯН

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ДАЛЬНИХ ОБЪЕКТОВ

Представлена система передачи сигналов, которая измеряет параметры дальних объектов и передает информацию в центральный пункт. Сверточно-кодированный сигнал передается по предварительно выбранному разрешенному радиоканалу и содержит информацию о состоянии разных датчиков.

Ключевые слова: передатчик, приемник, сверточное кодирование, микроконтроллер, датчик.

A.A. SANOYAN

MONITORING SYSTEM FOR DISTANT OBJECTS

A signal transmitting system which measures parameters of distant objects and sends information to the central station is described. Convolutional code signal is transmitted over preliminary selected legal radio channel containing information about sensors state.

Keywords: transmitter, receiver, convolution code, microcontroller, sensor.

Կ.Ա. ԹՈՌՈՅԱՆ

**ՄԹՆՈԼՈՐՏՈՒՄ SO₂ ԳԱԶԻ ԱՐՏԱՆԵՏՄԱՆ ԶԱՐԳԱՑՄԱՆ
ԷՎՈԼՅՈՒՑԻՈՆ ՊԱՏԿԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՄԱՆ
ՔՎԱԶԻՄԻԿՐՈՍԿՈՊԻԿ ՄՈՏԵՑՈՒՄ**

Առաջարկված է արտանետվող գազի էվոլյուցիոն պատկերը ստանալու համար քվադրմիկրոսկոպիկ մոտեցում: Խնդրի ֆիզիկական պատկերի քննարկումից բխում է, որ արտանետվող գազն աճող քանակությամբ և իրար հետ փոխազդող բրոունյան մասնիկներից բաղկացած համակարգ է: Ցույց է տրված, որ խնդրի հիմնական բարդությունը փոփոխվող քանակությամբ դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգի ինտեգրում կատարելու անհրաժեշտությունն է: Առաջարկված է խնդրի լուծման արդյունավետ ալգորիթ:

Առաջադիմ բառեր. մթնոլորտ, արտանետում, քվադրմիկրոսկոպիկ մոտեցում, ծծմբի երկօքսիդ:

Ներածություն: Բնապահպանության հիմնախնդիրներից մեկն անկասկած կարելի է համարել տարաբնույթ գազերի՝ մթնոլորտում տարածման առանձահատկությունների հետազոտումը՝ կախված կոնկրետ գազի քիմիական բաղադրությունից, արտանետման հոսքից, մթնոլորտի օդային հոսքերի պատկերից, տվյալ տեղանքի ռելիեֆից և այլն [1,2]: Չնայած՝ արտանետվող գազի էվոլյուցիոն զարգացման ընդհանուր որակական պատկերը բավականաչափ պարզ է, այդուհանդերձ, խնդրի քանակական նկարագրումը բավականաչափ բարդ է: Նշվածն ամբողջությամբ վերաբերում է նկարագրման թե՛ մակրո-ջերմադինամիկական եղանակին և թե՛ միկրոսկոպիկ-վիճակագրական մոտեցմանը: Ջերմադինամիկական եղանակի հիմնական բարդությունն այն է, որ արտանետվող գազը խիստ անհավասարակշիռ վիճակում գտնվող մակրոսկոպիկ օբյեկտ է:

Ինչպես հայտնի է, մակրոսկոպիկ մարմինները, հսկայական քանակությամբ ատոմների պարունակության շնորհիվ, դրսևորում են վիճակագրական որոշակի օրինաչափություններ [3]: Այդ իսկ պատճառով վիճակագրական եղանակի դեպքում համակարգի վիճակը հնարավոր է լինում բնութագրել, այսպես կոչված, բաշխման ֆունկցիայի միջոցով: Բաշխման ֆունկցիաների որոշման համար գոյություն ունեն ինտեգրալ-դիֆերենցիալ հավասարումներ, որոնք անվանվում են կինետիկ հավասարումներ: Հարկ է փաստել, որ ոչ բոլոր իրական դեպքերի համար է հաջողվում մակրոսկոպիկ համակարգի բնութագրման համար համապատասխան կինետիկ հավասարման արտածումը: Կինետիկ հավասարումների հիման վրա կազմակերպված դիտարկումների հիմնական դժվարությունը, թերևս, այդ հավա-

սարքումների չափազանց բարդ լինելն է: Գրեթե միշտ այդ հավասարումների նույնիսկ մոտավոր լուծման ստացումը պահանջում է հսկայաձավալ թվային հաշվարկներ:

Դիտարկվող երևույթի ֆիզիկական պատկերը: Քննարկման առարկան (արտանետվող գազի էվոյուցիան), որպես ֆիզիկական հիմնախնդիր ենթադրում է մեկ գազային վիճակի զարգացման դիտարկումը մեկ այլ գազի ծավալում: Գազի մոլեկուլների շարժման վրա մթնոլորտի ազդեցությունը կրում է պատահական բնույթ՝ պայմանավորված մթնոլորտի մասնիկների հետ անկանոն փոխազդեցությամբ: Վերն ասվածից անմիջապես բխում է, որ միկրոսկոպիկ պատկերը կարելի է որակել որպես բրոունյան շարժում, իսկ ընդհանուր գազի տարածման գործընթացը՝ որպես դիֆուզիա:

Հարկ է նշել, որ արտանետվող գազի պարագայում դիֆուզիան ընթանում է գրավիտացիոն դաշտում, և առկա է դիֆուզիայի ենթարկվող մասնիկների քանակն անընդհատ ավելացնող արտանետման աղբյուր: Վերջինս հաշվառման ենթակա առավել բարդ գործոն է, քանի որ այն պահանջում է արտանետման աղբյուրին մոտ տիրույթներում դիֆուզիոն գործընթացների դիտարկման իրականացում մակրոսկոպիկ քանակությամբ գազային հոսքերի առկայության պարագայում: Հասկանալի է, որ գազային հոսքերը որոշվում են աղբյուրից գազի արտանետման ինտենսիվությամբ, որի փոփոխությունը՝ կախված ժամանակից, կարող է կրել նաև պատահական բնույթ: Մթնոլորտում առկա քամիները ևս կարող են ստեղծել արտանետվող գազի զգալի հոսքեր և, հետևաբար, դրանով իսկ էական ազդեցություն ունենալ արտանետվող գազի էվոյուցիոն պատկերի ձևավորման վրա:

Ուստի այսուհետև կդիտարկենք պատահական ուժադաշտի ազդեցության տակ գտնվող մեխանիկական համախմբի նկարագրման խնդիրը՝ հիմնվելով համապատասխան շարժման հավասարումների լուծման վրա: Առաջարկվող մաթեմատիկական մոդելն իր բնույթով համահունչ է միկրոսկոպիկ մոտեցմանը և, որոշ իմաստով, փորձ է՝ միաժամանակ հսկայական քանակությամբ առանձին մասնիկների շարժմանը հետևելուն: Սովորաբար մակրոսկոպիկ ասելով հասկանում են այն դեպքը, երբ նյութը պարունակում է Ավոգադրոյի թվի կարգի մոլեկուլներ ($6.02 \cdot 10^{23}$): Այդ քանակությամբ մասնիկ պարունակող մեխանիկական համախմբի դիտարկումը ենթադրում է երեք անգամ ավելի շատ քանակությամբ դիֆերենցիալ հավասարումներ պարունակող համակարգի ինտեգրում:

Քվադրմիկրոսկոպիկ մոտեցում: Ստորև շարադրված մոտեցումը որոշակի փորձ է միկրոսկոպիկ տեսության՝ վերը նշված հիմնախնդրի շրջանցման ուղղությամբ: Առաջարկվող մոտեցման համար նպատակահարմար կլինի ներմուծել “քվադրմիկրոսկոպիկ” անվանումը, քանի որ դրանում առաջարկվում է 10^{23} մասնիկների դիտարկումը փոխարինել $10^5 \sim 10^6$ քանակությամբ մասնիկ պարունակող համակարգի դիտարկմամբ [4]: Առաջարկվող մոտեցման հիմքում ընկած է այն ենթադրությունը, որ քիչ քանակությամբ մասնիկներով համակարգի էվոյուցիոն

պատկերը, այնուամենայնիվ, կուրվագծի մեծ քանակությամբ մասնիկներ պարունակող համակարգի էվոլյուցիոն պատկերի ընդհանուր առանձնահատկությունները: Մեթոդում ընտրված համակարգի մասնիկների թվի կարգը պատահական չէ: Այն սահմանափակված է մեկ գերիզոտ համակարգչային միավորի ռեսուրսային հնարավորությամբ:

Մթնոլորտում ընդարձակվող գազային գործընթացի ֆիզիկական պատկերի վերաբերյալ վերն արված դատողությունների համաձայն քննարկման օբյեկտի նկարագրան համար, որպես աշխատանքային մոդել, պետք է ընտրվի փոփոխական քանակությամբ մասնիկ պարունակող մեխանիկական համախումբը: Համակարգը բնութագրող հիմնական պարամետրերից մեկի՝ մասնիկների թվի ժամանակից կախված փոփոխական լինելը պահանջում է խնդրի լուծման համար առանձնահատուկ մոտեցման դրսևորում:

Բազմամասնիկային մեխանիկական համախումբը՝ պատահական ֆլուկտուացիոն ֆոնի առկայության դեպքում: Ինչպես հայտնի է, կամայականորեն իրար հետ փոխազդող մասնիկներից բաղկացած մեխանիկական համախմբի էվոլյուցիոն զարգացումը նկարագրվում է դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգով՝ գրված առանձին մասնիկների կոորդինատների ժամանակային կախվածության համար: Համակարգի i -րդ մասնիկի վրա ազդող $\vec{F}_i$ ուժը բաժանելով արտաքին /external/ և ներքին /internal/ բաղադրիչների, կունենանք՝

$$\vec{F}_i = \vec{F}_i^{\text{int}} + \vec{F}_i^{\text{ext}}, \quad (1)$$

որտեղից այդ համակարգի համար կարող ենք գրել՝

$$m \frac{d^2 \vec{r}_i}{dt^2} = \vec{F}_i^{\text{int}} + \vec{F}_i^{\text{ext}}, \quad i = 1, \dots, N: \quad (2)$$

Այստեղ $\vec{r}_i$ -ն i -րդ մասնիկի դիրքը նկարագրող շառավիղ-վեկտորն է, m -ը՝ համակարգի մասնիկի զանգվածը (ենթադրվում է, որ համակարգը բաղկացած է միանման մասնիկներից), $\vec{F}_i^{\text{int}}$ -ը բնութագրում է համակարգի ներսում մասնիկների միջև փոխազդեցությունը, $\vec{F}_i^{\text{ext}}$ -ն արտահայտում է արտաքին ուժադաշտերի ազդեցությունը մասնիկի վրա, N -ը համակարգում մասնիկների քանակն է:

Արտաքին ուժադաշտի բնույթի վերաբերյալ վերն արված քննարկումից հետևում է, որ բոլոր մասնիկների համար այն ունի ինչպես որոշակի, այնպես էլ պատահական բաղադրիչ, և հետևաբար՝ կարող ենք գրել

$$\vec{F}_i^{\text{ext}} = -\chi \frac{d \vec{r}_i(t)}{dt} - mg\vec{k} + \vec{F}_i^{\text{random}}, \quad (3)$$

որտեղ $\vec{F}_i^{\text{random}}$ i -րդ մասնիկի շարժմանը գուգորդող $\vec{F}^{\text{random}}$ պատահական ուժի որևէ իրականացում է:

Ենթադրելով, որ համակարգի մասնիկների միջև գործում են զույգ առ զույգ փոխազդեցության ուժեր, կարող ենք գրել՝

$$\vec{F}_i^{\text{int}} = \sum_{k=1}^N \vec{F}_{ik}, \quad i \neq k, \quad (4)$$

որտեղ $\vec{F}_{ik}$ -ն i -րդ մասնիկի վրա k -րդ մասնիկի կողմից ազդող ուժն է: $i \neq k$ պայմանը բացառում է մասնիկի ինքնազդեցությունը: Օգտագործելով (2)-ը, (1)-ի համար կարող ենք գրել՝

$$\begin{cases} m \frac{d^2 \vec{r}_1(t)}{dt^2} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \dots + \vec{F}_{1N} - \chi \vec{u}_1(t) - m \vec{g} + \vec{F}_1^{\text{random}}, \\ m \frac{d^2 \vec{r}_2(t)}{dt^2} = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{23} + \dots + \vec{F}_{2N} - \chi \vec{u}_2(t) - m \vec{g} + \vec{F}_2^{\text{random}}, \\ \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ m \frac{d^2 \vec{r}_N(t)}{dt^2} = \vec{F}_{N1} + \vec{F}_{N2} + \dots + \vec{F}_{NN-1} - \chi \vec{u}_N(t) - m \vec{g} + \vec{F}_N^{\text{random}}, \end{cases} \quad (5)$$

որտեղ $\vec{u}_i(t) = d\vec{r}_i(t)/dt$ -ն i -րդ մասնիկի շարժման արագությունն է:

Միարժեք լուծում ստանալու համար այս հավասարումների համակարգը պետք է լրացվի նաև բոլոր մասնիկների համար շարժման սկզբնապայմաններով՝ $\vec{r}_1(0) = \vec{r}_1^0$, $\vec{r}_2(0) = \vec{r}_2^0$, ..., $\vec{r}_N(0) = \vec{r}_N^0$ և $\vec{u}_1(0) = \vec{u}_1^0$, $\vec{u}_2(0) = \vec{u}_2^0$, ..., $\vec{u}_N(0) = \vec{u}_N^0$: Հարկ է նաև նշել, որ ելնելով արտանետման աղբյուրի բնույթից, ընդհանրապես ասած՝ շարժման սկզբնական պայմանները ևս պետք է համարվեն պատահական մեծություններ: Պատահական կարող է լինել նաև միավոր ժամանակում արտանետված մասնիկների քանակը:

Միջմասնիկային փոխազդեցության ուժերի բնույթի վերաբերյալ բազմաթիվ մոդելներ կան: Չեզոք մասնիկների դեպքում առավել իրատեսական մոդելները ենթադրում են, որ միջմասնիկային փոխազդեցության ուժերը կենտրոնական են և կախված են միայն միջմասնիկային հեռավորությունից՝

$$\vec{F}_{ik} = \vec{F}(\vec{r}_i(t), \vec{r}_k(t)) = f(r_{ik}) \frac{\vec{r}_{ik}}{r_{ik}}, \quad (6)$$

որտեղ $\vec{r}_{ik}$ -ն i -րդ և k -րդ մասնիկների փոխադարձ դիրքը բնութագրող վեկտորն է, իսկ $r_{ik} = |\vec{r}_{ik}|$ -ն՝ միջմասնիկային հեռավորությունը: Նկատենք, որ ուժերի կենտրոնական լինելն ապահովում է փոխազդեցության ժամանակ իմպուլսի և էներգիայի համատեղ պահպանումը:

Թվային հաշվարկների իրականացման և դրանց վերահսկման նկատառումներից ելնելով՝ դիմենք (6) դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգի վերջավոր տարբերություններով գրառման ձևին: Այդ նպատակով տրոհենք դիտարկման ամբողջ t ժամանակը Δt փոքր ժամանակահատվածների: Ներմուծելով $t = n\Delta t$ ժամանակի պահի համար i -րդ մասնիկի շառավիղ-վեկտորի $\vec{r}_i(n\Delta t) = \vec{r}_i(n)$ նշանակումը՝ (6)-ի կամայական i -րդ հավասարման համար կարող ենք գրել՝

$$m \frac{\vec{r}_i(n+2) - 2\vec{r}_i(n+1) + 2\vec{r}_i(n)}{\Delta t^2} = \sum_{k=i}^N \vec{F}(\vec{r}_i(n+1), \vec{r}_k(n+1)) - \chi \frac{\vec{r}_i(n+1) - \vec{r}_i(n)}{\Delta t} - mg\vec{k} + \vec{F}_i^{\text{rand}}(n+1), i \neq k, \quad (7)$$

որտեղ $\vec{F}_i^{\text{rand}}(n+1)$ -ը i -րդ մասնիկի վրա $(n+1)\Delta t$ ժամանակահատվածում ազդող պատահական ուժն է, իսկ գումարելիներով անդամը համապատասխանում է նույն ժամանակահատվածում i -րդ մասնիկի վրա համակարգի մնացած մասնիկների կողմից ազդող ուժին:

Հետագայում մեր հաշվարկներում սահմանափակվելու ենք միջմասնիկային փոխազդեցության, այսպես կոչված, Լեոնարդ-Ջոնսի մոդելով, երբ փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիան ունի հետևյալ տեսքը՝

$$U(\vec{r}_i, \vec{r}_j) = \frac{A}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|^{12}} - \frac{B}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|^6}, \quad (8)$$

որտեղ A -ն և B -ն գրոյից մեծ հաստատուններ են, որոնց արժեքները կախված են փոխազդող մոլեկուլների տեսակից: Հայտնի է, որ (8) պոտենցիալը բավականաչափ լավ է նկարագրում փոխազդեցությունը բնեռային մոլեկուլների միջև: Օգտվելով (8)-ից՝ փոխազդեցության ուժի համար կարող ենք գրել

$$\vec{F}_{ik} = \left(\frac{A}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|^{13}} - \frac{B}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|^7} \right) \frac{\vec{r}_i - \vec{r}_j}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|}. \quad (9)$$

Այս բանաձևերից երևում է, որ մոլեկուլների միջև փոքր $|\vec{r}_i - \vec{r}_j|$ հեռավորությունների դեպքում ուժը հիմնականում պայմանավորված է A պարունակող անդամով, և այն ունի վանողական բնույթ: Մեծ $|\vec{r}_i - \vec{r}_j|$ -ի դեպքում ուժի մեծությունը հիմնականում որոշվում է B պարունակող անդամով, և մասնիկների միջև փոխազդեցությունը ձգողական է:

Նշենք, որ միջմասնիկային փոխազդեցության անտեսման պարագայում ($\vec{F}_{ik} = 0$, բոլոր i և k երի համար) (5) հավասարումների համակարգը վերածվում է առանձին անկախ հավասարումների:

Փոփոխական քանակությամբ մասնիկներից բաղկացած մեխանիկական համախմբի մաթեմատիկական մոդելը: Դիցուք միավոր ժամանակում աղբյուրն արտանետում է v քանակությամբ մասնիկ այնպես, որ Δt փոքր ժամանակահատվածում արտանետված մասնիկների ΔN քանակի համար կարող ենք գրել՝

$$\Delta N = v(t)\Delta t: \quad (10)$$

Ընդհանրապես v մեծությունը կարող է ունենալ ժամանակային կախվածություն, որն իր հերթին կարող է լինել ինչպես դետերմինիստական, այնպես էլ պատահական բնույթի: Եթե մասնիկների արտահոսքն ընթանում է $t = 0$ պահից

հետո, ընդ որում՝ կայուն արագությամբ՝ $v = \text{const}$, ուստի, կախված ժամանակից, համակարգում մասնիկների քանակը փոփոխվում է զծային օրենքով՝

$$N = vt: \quad (11)$$

Խնդիրը չսահմանափակելու նպատակով ենթադրենք, որ արտահոսքը, կախված ժամանակից, կարող է ընթանալ տարբեր արագություններով, և ներմուծենք հետևյալ նշանակումները. ΔN_1 -ը՝ աղբյուրից արտահոսած մասնիկների թիվն առաջին Δt ժամանակահատվածում, ΔN_2 -ը՝ արտահոսած մասնիկների թիվը երկրորդ Δt ժամանակահատվածում և այլն: Հասկանալի է, որ ժամանակի կամայական $p\Delta t$ ($p = 1, 2, \dots$) պահի համար մասնիկների թիվը կկազմի՝

$$N(p) = \sum_{k=1}^p \Delta N_k: \quad (12)$$

Առաջին $k=1$ քայլում համակարգը պարունակում ΔN_1 իրար հետ փոխազդող մասնիկներ, որոնց համար հայտնի են շարժման սկզբնական պայմանները: Այլ կերպ ասած, այդ ժամանակահատվածի սկզբնական և վերջնական պահերին բոլոր մասնիկների դիրքերը կլինեն՝

$$\vec{r}_i(0) = \vec{r}_i^0; \quad \vec{r}_i(1) = \vec{r}_i^1 \quad 1 \leq i \leq \Delta N_1: \quad (13)$$

Նկատենք, որ $\vec{u}_i(1) = (\vec{r}_i(1) - \vec{r}_i(0)) / \Delta t$ ՝ մասնիկի արագությունն է առաջին ժամանակահատվածում: Այս մասնիկների $2\Delta t$ պահին դիրքերի, այսինքն $\vec{r}_i(2)$ ($1 \leq i \leq \Delta N_1$) մեծությունների համար, ելնելով (7)-ից, կարող ենք գրել՝

$$\vec{r}_i(2) = 2\vec{r}_i(1) - \vec{r}_i(0) + \left(\sum_{j=1}^{\Delta N_1} F(\vec{r}_i(1), \vec{r}_j(1)) - \chi \frac{\vec{r}_i(1) - \vec{r}_i(0)}{\Delta t} - g\vec{k} + \vec{F}_i^{\text{rand}}(1) \right) \frac{\Delta t^2}{m}, \quad j \neq i: \quad (14)$$

Հաշվարկի $k=2$ քայլում համակարգի մասնիկների քանակը պետք է համարել $\Delta N_1 + \Delta N_2$: Խնդիրն այժմ $3\Delta t$ պահին այդ մասնիկների դիրքերը որոշելն է: Այլ կերպ ասած, որոնելի են $\vec{r}_i(3)$ -ները ($1 \leq i \leq \Delta N_1 + \Delta N_2$) = $N(2)$ (տե՛ս (12)): Համաձայն (7)-ի՝ կարող ենք գրել՝

$$\vec{r}_i(3) = 2\vec{r}_i(2) - \vec{r}_i(1) + \left(\sum_{j=1}^{N(2)} F(\vec{r}_i(2), \vec{r}_j(2)) - \chi \frac{\vec{r}_i(2) - \vec{r}_i(1)}{\Delta t} - g\vec{k} + \vec{F}_i^{\text{rand}}(2) \right) \frac{\Delta t^2}{m}, \quad j \neq i: \quad (15)$$

Ինչպես երևում է բերված բանաձևից, մասնիկների դիրքերը՝ $\vec{r}_i(3)$ -ը, ժամանակի $t = 3\Delta t$ պահի համար որոշվում են այդ մասնիկների դիրքերով $t = \Delta t$ և $t = 2\Delta t$ պահերին՝ $\vec{r}_i(1)$, $\vec{r}_i(2)$, համապատասխանաբար:

Վերն ասվածից բխում է, որ շարժման միարժեքության համար պետք է երկրորդ Δt ժամանակահատվածում համակարգ ներմուծված մասնիկների համար տալ շարժման սկզբնական պայմաններ, ինչը ենթադրում է, որ այդ մասնիկների համար հայտնի են դրանց դիրքերը Δt և $2\Delta t$ պահերին, այսինքն՝

$$\vec{r}_i(1) = \vec{r}_i^1; \quad \vec{r}_i(2) = \vec{r}_i^2 \quad \Delta N_1 < i \leq N(2): \quad (16)$$

Առաջին Δt ժամանակահատվածում համակարգ ներմուծված մասնիկների դիրքերը ժամանակի $t = \Delta t$ և $t = 2\Delta t$ պահերի համար որոշվում են համապատասխանաբար (13) և (14)-ից:

Հիմնվելով վերն արված դատողությունների վրա՝ կարելի է առաջարկել ընդհանուր ալգորիթմ համակարգի էվոլյուցիոն պատկերի նկարագրման համար ցանկացած p -րդ քայլում: Հասկանալի է, որ ժամանակի $p\Delta t$ պահին խնդրի պարամետրերը՝ մասնիկների դիրքերը, պարզ հանրահաշվորեն կապվում են $(p-1)\Delta t$ և $(p-2)\Delta t$ պահերին մասնիկների ունեցած դիրքերի հետ՝

$$\begin{aligned} \vec{r}_i(p) &= 2\vec{r}_i(p-1) - \vec{r}_i(p-2) + \\ &+ \left(\sum_{j=1}^{N(p-1)} F(\vec{r}_i(p-1), \vec{r}_j(p-1)) - \chi \frac{\vec{r}_i(p-1) - \vec{r}_i(p-2)}{\Delta t} - g\vec{k} + \vec{F}_i^{\text{rand}}(p-1) \right) \frac{\Delta t^2}{m}, \quad j \neq i, \end{aligned} \quad (17)$$

որտեղ $(p-1)\Delta t$ ժամանակահատվածում համակարգ ներմուծված մասնիկների ($N(p-2) < j \leq N(p-1)$) դիրքերը համապատասխան պահերին որոշվում են իրենց շարժման սկզբնապայմաններից՝

$$\vec{r}_i(p-2) = \vec{r}_i^{p-2}; \quad \vec{r}_i(p-1) = \vec{r}_i^{p-1} \quad N(p-2) < i \leq N(p-1): \quad (18)$$

Մինչև $(p-2)\Delta t$ պահը համակարգ ներմուծված մասնիկների դիրքերը $(p-1)\Delta t$ և $(p-2)\Delta t$ պահերին որոշելու համար (17), (18)-ում p -ն պետք է դիտարկել որպես փոփոխական մեծություն՝ հաջորդաբար տալով 1-ից մինչև $(p-2)$ արժեքներ:

Փվային հաշվարկներ: Կատարված է թվային մոդելավորում՝ օգտագործելով Ալավերդիի քաղաքում տեղակայված Պոնձաձուլական գործարանից ծծմբի երկօքսիդի արտանետումների և այդ տարածաշրջանի համար բնորոշ քամիների վարդի միջինացված տվյալներ:

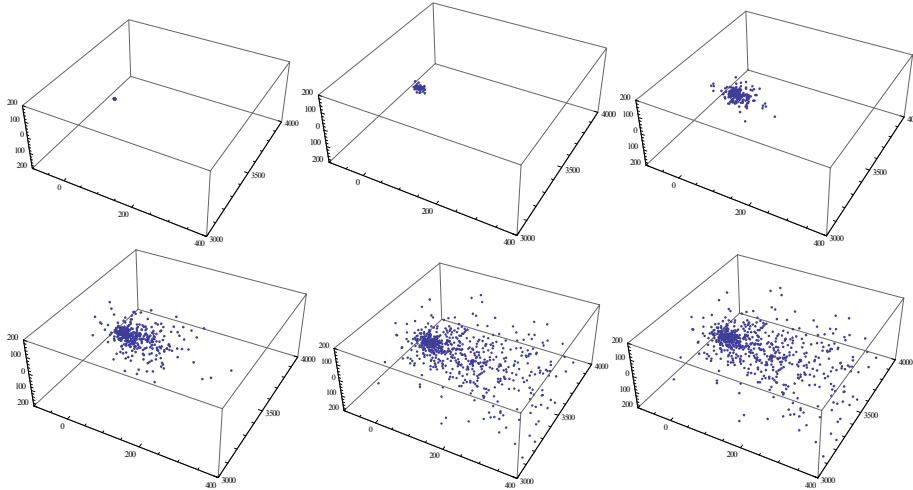
Քաղաքի մթնոլորտային օդում արտանետումներից առավելագույնի՝ ծծմբի երկօքսիդի ցրումը մթնոլորտի գետնամերձ շերտում գնահատելու նպատակով կիրառվել է մշակված մաթեմատիկական մոդելը, որի արդյունքում ստացվել են նաև 3D գրաֆիկական պատկերներ: Մոդելավորումը կատարվել է՝ հաշվի առնելով Հայիդրոմետի կողմից սահմանված քամիների վարդը:

Քամիների դաշտի յուրաքանչյուր կետում, մթնոլորտային արտանետման աղբյուրից արտանետումների ժամանակային և քանակական փոփոխմանը զուգընթաց, գնահատվել է մթնոլորտային առավելագույն աղտոտիչի՝ պոնձաձուլական գործարանի արտանետման տարածումը:

Հաշվարկների արդյունքում մթնոլորտային աղտոտվածության ստացված սեկտորները, առավել տեսողական ընկալման նպատակով, բաժանվել են աղտոտման չորս պայմանական գոտիների՝ բաժանված աղտոտվածության եզրային բացարձակ արժեքներով (0.6; 0.22; 0.15 և 0.1 $\mu\text{g}/\mu^3$): Ստացված բացարձակ արժեքները համեմատվել են դիտարկված առավելագույն կոնցենտրացիայի արժեքի (0.5 $\mu\text{g}/\mu^3$) հետ: Ընդ որում, առաջին գոտում կազմակերպված արտանետման

աղբյուրից 90մ հեռավորության վրա առավելագույն կոնցենտրացիան գերազանցել է 45.7 անգամ, 180 մ հեռավորության վրա՝ 17.4 անգամ, առաջին գոտու եզրագծում՝ 1.2 անգամ:

Ծրագրային փաթեթի աշխատանքի արդյունքում ստացվել են նաև 3D պատկերներ (նկ.):



Նկ. 3D պատկերներ

Եզրակացություն: Աշխատանքում առաջարկված է ընդհանուր ալգորիթմ՝ համակարգի էվոյուցիոն պատկերի նկարագրման համար ցանկացած քայլում: Հասկանալի է, որ ժամանակի կամայական պահին խնդրի պարամետրերը՝ մասնիկների դիրքերը, պարզ հանրահաշվորեն կապվում են տվյալ պահից մեկ քայլ առաջ մասնիկների դիրքերի հետ: Աշխատանքի արդյունքում ստացված մաթեմատիկական մոդելը կիրառվել է հանրապետության, ծծմբի երկօքսիդի արտանետումներով ամենահագեցած տարածաշրջաններից մեկում՝ Ալավերդի քաղաքում: Մշակված մաթեմատիկական մոդելն օգտագործվել է քաղաքի մթնոլորտային օդում արտանետումներից առվելագույնի՝ ծծմբի երկօքսիդի ցրումը մթնոլորտի գետնամերձ շերտում գնահատելու նպատակով, որի արդյունքում ստացվել են նաև 3D գրաֆիկական պատկերներ: Մոդելավորումը կատարվել է՝ հաշվի առնելով Հայիիդրոմետի կողմից սահմանված քամիների վարդը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Ветошкин А.Г.** Защита атмосферы от газов.- Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. - 201с.
2. **Тищенко Н.Ф.** Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания вредных веществ и их распределение в воздухе: Справ. изд. – М.: Химия, 1991. – 368 с.
3. **Климантович Ю.Л.** Статистическая физика.- М.: Наука, 1982. – 608 с.
4. **Климонтович Ю.Л.** Нелинейное броуновское движение. УФН 164. 1994.- 32 с.

ՀՊՃՀ (Պոլիտեխնիկ). Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 6.09.2011:

К.А. ТОРЧАН

КВАЗИМИКРОСКОПИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ ЭВОЛЮЦИОННОЙ КАРТИНЫ РАЗВИТИЯ ВЫБРОСОВ ГАЗА SO₂ В АТМОСФЕРЕ

Представлен квазимикроскопический подход для получения эволюционной картины выбрасываемого газа. Из обсуждения физического отображения задачи следует, что выбрасываемый газ представляет собой систему, состоящую из растущих в числе и взаимодействующих между собой броуновских частиц. Показано, что основная сложность задачи состоит в том, что необходимо произвести интеграцию системы с переменным количеством дифференциальных уравнений. Представлен эффективный алгоритм для решения задачи.

Ключевые слова: атмосфера, выброс, квазимикроскопический подход, двуокись серы.

K.A. TORCHYAN

QUASIMICROSCOPIC APPROACH TO THE RESEARCH OF EVOLUTIONAL PATTERN OF SO₂ GAS EMISSION PROGRESS

A quasimicroscopic approach for getting the evolutionary pattern of the ejected gas is presented. It follows from the consideration of the problem's physical representation that the ejected gas is a system which consists of interacting growing in number and Brownian particles. It is shown that the main difficulty of the problem is that it is necessary to perform an integration of a system with variable number of differential equations. An effective algorithm for solving the problem is presented.

Keywords: atmosphere, emission, quasimicroscopic approach, sulphur dioxide.

Э.П. АЦИЯНЦ

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ НАЧАЛЬНОГО УЧАСТКА ПРИ
РАЗВИТИИ ЛАМИНАРНОГО ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОЙ
НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ В КРУГЛОЙ
ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТРУБЕ**

Отмечаются недостатки рекомендуемой в существующей литературе зависимости, определяющей развитие ламинарного течения вязкой жидкости на начальном участке трубы. Рекомендуется новая, более надежная зависимость, определяющая длину начального участка.

Ключевые слова: функция Бесселя второго и нулевого порядка, скоростной напор, погрешность линеаризации.

Гидравлические исследования течения вязкой жидкости в напорных водоводах необходимы для их надежного проектирования.

В [1-3] показано, что при входе жидкости из резервуара в трубу распределение местных скоростей по живому сечению трубы на ее начальном участке некоторой длины ℓ_n не соответствует их распределению при равномерном движении. В пределах этой длины происходит переформирование эпюры скоростей и стабилизация параболического профиля.

Для определения развития ламинарного течения на начальном участке ℓ_n в вышеуказанных работах использовано дифференциальное уравнение движения вязкой несжимаемой жидкости, представленное в цилиндрических координатах вида

$$U \frac{\partial U}{\partial x} = \nu \left(\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} \right) - \frac{g \Delta H}{\ell}, \quad (1)$$

где $U(x, r)$ – скорость течения жидкости; x – продольная координата оси трубы; r – переменный радиус трубы ($0 \leq r \leq R$); R – радиус трубы, ν – коэффициент кинематической вязкости жидкости; $\Delta H = H_1 - H_2$, H_1 и H_2 – постоянные напоры в начале и конце трубы; ℓ – длина трубы.

В случае, если вход жидкости в трубу хорошо закруглен и на входе поддерживается постоянный напор, то возможно, что частицы жидкости на

входе в трубу будут двигаться с одинаковой скоростью $U_0 = Q/A$, где Q – расход жидкости, A – площадь поперечного сечения трубы.

Для указанного случая в [1-3] уравнение (1) интегрируется при следующих условиях:

$$\left[\begin{array}{l} \text{при } x = 0 \quad U(0, r) = U_0, \\ \text{при } r = 0, \frac{\partial U}{\partial r} = 0, \text{ а при } r = R - U(x, R) = 0. \end{array} \right. \quad (2)$$

Для того чтобы иметь возможность интегрировать уравнение (1) аналитическим путем, в указанных работах осуществляется линеаризация слагаемого $U \frac{\partial U}{\partial r}$ и представление его в виде $U_0 \frac{\partial U}{\partial r}$. При этом уравнение (1) принимает вид

$$U_0 \frac{\partial U}{\partial r} = v \left(\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} \right) - \frac{g \Delta H}{\ell}. \quad (3)$$

В [1-3] это уравнение интегрируется операторным методом (преобразование Лапласа). В результате получается зависимость для скорости вида [2]

$$\frac{U(x, r)}{U_0} = 2 \left(1 - \frac{r^2}{a^2} \right) - 4 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{\gamma_m^2} \left[1 - \frac{I_0 \left(\gamma_m \frac{r}{a} \right)}{I_0(\gamma_m)} \right] e^{-\frac{\gamma_m^2 v x}{a^2 U_0}}, \quad (4)$$

где a – радиус трубы; γ_m – корни уравнения Бесселя второго порядка.

При использовании зависимости (4) следует обратить внимание на то обстоятельство, что изменение скорости течения жидкости определяется корнями уравнения Бесселя второго порядка. Исходя из вышеизложенного, отметим, что эта функция не обеспечивает выполнения краевого условия задачи, так как при $r = 0$ она не принимает максимального значения. Это подтверждается расчетом по зависимости (4). Например, при $x = 0$ и $r = 0$ имеем значение скорости $U(0, 0) = 0,71U_0$ вместо $U(0, 0) = U_0$, в то время как зависимость (4) должна обеспечивать точное выполнение граничных условий.

В связи с указанным недостатком зависимости (4) в настоящей работе интегрирование уравнения (3) производится при тех же условиях (2) методом Фурье, в результате чего для скорости получена зависимость вида

$$\begin{aligned}
U(x, r) = & 2U_0 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{I_0\left(\frac{\mu_k}{R}r\right)}{I_1(\mu_k)\mu_k} \exp(-\mu_k^2 vx / R^2 U_0) + \\
& + \frac{2g\Delta H R^2}{\ell v} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{I_0\left(\frac{\mu_k}{R}r\right)}{I_1(\mu_k)\mu_k^3} [1 - \exp(-\mu_k^2 vx / R^2 U_0)],
\end{aligned} \tag{5}$$

где μ_k – корни функции Бесселя нулевого порядка.

В процессе интегрирования уравнения (3) методом Фурье становится совершенно очевидным, что изменение скорости течения жидкости определяется корнями функции Бесселя нулевого порядка. В отличие от зависимости (4), зависимость (5) обеспечивает точное выполнение граничного условия $U(0, r) = U_0$.

При $r = 0$ функция $I_0\left(\frac{\mu_k}{R}0\right) = 1$, т.е. принимает максимальное

значение, а при $r = R$ - $I_0(\mu_k) = 0$, так как μ_k являются корнями функции Бесселя нулевого порядка. При $x \rightarrow \infty$ распределение местных скоростей соответствует их распределению при равномерном режиме движения.

Необходимо также отметить, что в случае, если одно и то же дифференциальное уравнение интегрируется при одинаковых начальных и краевых условиях правильно, то независимо от способов интегрирования расчеты по полученным зависимостям должны совпадать. Однако в рассматриваемом случае этого не происходит.

На рисунке приведена кривая 1, построенная с помощью зависимости (4) и показывающая изменение отношения $U_{\max}/U_0$ в зависимости от безразмерной координаты x/DRe , где $U_{\max}$ – скорость на оси трубы, D – диаметр трубы, $Re = U_0 D / \nu$.

На том же рисунке представлена кривая 2, построенная с помощью зависимости (5). При построении кривой 2 были использованы следующие численные значения параметров: $U_0 = 0,18$ м/с, $D = 0,05$ м, $\nu = 85 \cdot 10^{-7}$ м²/с, $\Delta H = 0,1$ м, $\ell = 50$ м.

Как видно из рисунка, кривые 1 и 2 существенно отличаются друг от друга. Причина такого расхождения объясняется тем, что численные значения начальных корней функции Бесселя второго порядка γ_m ($m=1,2,3$) значительно больше начальных корней функции Бесселя нулевого порядка. Поэтому стабилизация процесса перераспределения местных скоростей жидкости, рас-

считанная по зависимости (4), происходит на участке значительно меньшей длины ($\ell_n \approx 0,05D Re$), чем это получается при использовании зависимости (5).

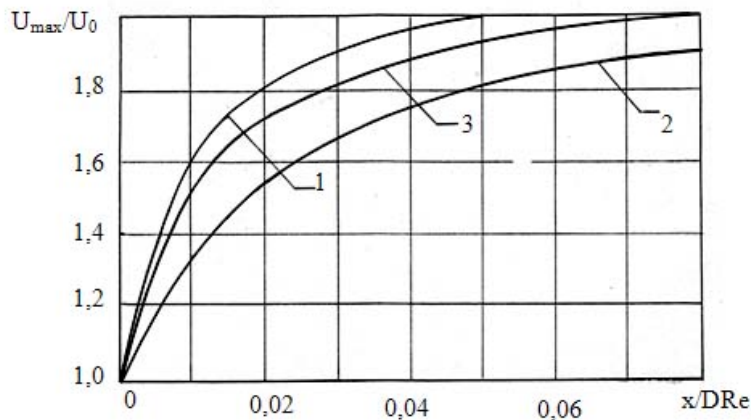


Рис. Отношение максимальной скорости к средней на начальном участке трубопровода по длине максимального участка

Для оценки степени корректности используемой зависимости (4) обратимся к экспериментальным данным, приведенным в [2]. Из приведенного выше рисунка видно, что в интервале $0,015 < \frac{x}{D Re} \leq 0,0425$ эксперименталь-

ные значения скоростей на оси трубы, полученные Никурадзе и Буссинеским, располагаются ниже кривой 1. Это означает, что при расчете по зависимости (4) стабилизация параболического профиля скоростей, соответствующая равномерному режиму движения, обеспечивается на участке трубы значительно меньшей длины, чем это показывают эксперименты. Данное обстоятельство заставляет усомниться в корректности зависимости (4). Кроме вышеуказанного, следует обратить внимание еще на одно немаловажное обстоятельство. Как уже упоминалось, при интегрировании уравнения (1) выражение $U \partial U / \partial x$ линеаризуется, допуская при этом существенную погрешность. Исследования [4] показывают, что при линеаризации скоростного напора в определенных интервалах изменения параметра “ x ” показатель степени при экспоненте затухания может уменьшиться в два и более раза. Поэтому с целью уменьшения допускаемой погрешности рекомендуется в зависимости (5) значение параметра “ x ” при экспоненте затухания умножить на корректирующий коэффициент $\alpha \approx 1,8$. В этом случае расхождение между экспериментальными и расчетными данными существенно уменьшится, все экспериментальные данные будут

расположены выше расчетной кривой, следовательно, расчет по откорректированной зависимости (6) обеспечит высокую степень надежности.

Таким образом, окончательно расчетная зависимость для скорости $U(x,r)$ будет иметь вид

$$U(x,r) = 2U_0 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{I\left(\mu_k \frac{r}{R}\right)}{I(\mu_k)\mu_k} \exp(-\mu_k^2 vx\alpha / R^2 U_0) + \\ + \frac{2g\Delta HR^2}{\ell v} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{I_0\left(\mu_k \frac{r}{R}\right)}{I_1(\mu_k)\mu_k^3} [1 - \exp(-\mu_k^2 vx\alpha / R^2 U_0)], \quad (6)$$

где $\alpha \approx 1,8$.

На рисунке приведена также кривая 3, построенная с помощью зависимости (6). Из кривой видно, что характерное для стабилизированного равномерного ламинарного движения отношение $U_{\max} / U_0$ наблюдается на расстоянии $x / D Re \approx 0,08$. Отметим, что подобная кривая представлена также в работе [5] на рис. 4.14. Однако в этой работе не поясняется, каким образом получена эта кривая, и дается ссылка на работу [6], в которой также исследуется рассматриваемая задача, однако такой кривой там нет.

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Рекомендуемая в [1-3] зависимость, определяющая развитие ламинарного течения на начальном участке круглой цилиндрической трубы, некорректна и не рекомендуется при практических расчетах.

2. Полученная в настоящей работе зависимость (6) обеспечивает некоторый запас при определении длины начального участка трубы ℓ_n , и, тем самым, она более надежна при расчетах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Тарг С.Н.** Основные задачи теории ламинарных течений. – М. - Л.: ГИТТЛ, 1951. – 420 с.
2. **Слезкин Н.А.** Динамика вязкой несжимаемой жидкости. – М.: ГИТТЛ, 1955. – 513 с.
3. **Котляр Я.М.** Методы математической физики и задачи гидроаэродинамики. – М.: Высшая школа, 1991. – 208 с.
4. **Ащиянц Э.П.** Общее аналитическое решение задачи разгона жидкости в трубопроводе // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. – 2007. – Т.60, N 4. – С. 728-731.

5. Альтшуль А.Д., Животовский Л.С., Иванов Л.П. Гидравлика и аэродинамика. – М.: Стройиздат, 1987. – 414 с.
6. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: Физматгиз, 1972. – 711 с.

ЗАО “Институт водных проблем и гидротехники”. Материал поступил в редакцию 12.01.2011.

Է.Պ. ԱՇՉԻՑԱՆՑ

ԽՈՂՈՎԱԿԻ ՄԿՋԲՆԱՄԱՍԻ ԵՐԿԱՐՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ՄԱԾՈՒՑԻՎ ՉՍԵՂՄՎՈՂ ՀԵՂՈՒԿԻ ԼԱՄԻՆԱՐ ՀՈՍՔԻ ԶԱՐԳԱՑՄԱՆ ԴԵՊԶՈՒՄ

Նշվում են գոյություն ունեցող գրականության մեջ առաջարկվող բանաձևի թերությունները: Առաջարկվում է խողովակի սկզբնական հատվածի երկարությունը որոշող նոր, ավելի հուսալի բանաձև:

Առանցքային բառեր. երկրորդ և զրոյական կարգի Բեսսելի ֆունկցիա, արագության էջք, գծայնացման սխալ:

E.P. ASHCHIANTS

INITIAL PIPE SECTION LENGTH FLOW OF VISCOUS INCOMPRESSIBLE FLUID IN CIRCULAR CYLINDRICAL PIPE

Shortcomings of recommended in literature dependencies defining the laminar development of viscous fluid on initial pipe section are discussed. A new, more reliable dependence defining the initial pipe section is recommended.

Keywords: the second and zero order of Bessel function, velocity head, linearization inaccuracy.

ՄԻՀՐԱՆ ՍՏԱԿՅԱՆ (ծննդյան 70-ամյակի կապակցությամբ)

Լրացավ տեխն. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր, Հայաստանի ճարտարագիտական և Ուկրաինայի տրանսպորտային ակադեմիաների իսկական անդամ և Միջազգային ճարտարագիտական ակադեմիայի (ք. Մոսկվա) թղթակից անդամ **Միհրան Գրիգորի Ստակյանի** ծննդյան **70-ամյակը**:



Նրա ողջ գործունեությունն անխզելիորեն կապված է Պոլիտեխնիկականի հետ, ուր նա 1957թ. ընդունվել է մեխանիկամեքենաշինական ֆակուլտետ և 1962թ. ավարտելուց հետո մինչ այժմ անընդմեջ աշխատում է մեքենագիտության ամբիոնում, անցնելով գիտամանկավարժական գործունեության բոլոր փուլերը՝ ասիստենտից մինչև ամբիոնի վարիչ և պրոֆեսոր: 1968թ. Օդեսայի պոլիտեխնիկական ինստիտուտում պաշտպանել է թեկնածուական, իսկ 1997թ. ՀՊՃՀ-ում՝ դոկտորական ատենախոսություններ:

Այդ տարիներին նա ձևավորվել է որպես մանկավարժ և հետազոտող, դասավանդել մեքենագիտության բնագավառի մի շարք դասընթացներ և դարձել առաջատար դասախոս մեքենաների նախագծման

հիմունքների գծով, զբաղվել է մեթոդական աշխատանքներով և հրատարակել 27 անուն ձեռնարկներ, որի համար դեռևս 1980թ. ընդգրկվել էր ԽՍՀՄ բարձրագույն կրթության մինիստրության մեխանիկայի և մեքենագիտության գիտամեթոդական հանձնաժողովի կազմում:

Նա իր ավանդն է ներդրել հանրապետության ճարտարագիտական կադրերի, մասնավորապես՝ ճարտարագետ մեխանիկների պատրաստման գործում: 1992–98թթ. գլխավորել է ՀՊՃՀ ուսումնամեթոդական վարչությունը և մասնակցել հանրապետության բարձրագույն կրթության համակարգի վերափոխման, միջազգային չափանիշներին համապատասխանեցնելու, բազմաստիճան կրթական համակարգ

ստեղծելու և ուսումնական գործընթացում նոր կրթական տեխնոլոգիաներ ներդնելու աշխատանքներին:

1998–2000թթ. Մ. Ստակյանը աշխատել է ՀՀ կրթության և գիտության նախարարի տեղակալի պաշտոնում՝ համակարգելով միջին մասնագիտական, բարձրագույն կրթության և գիտության ոլորտների կազմակերպական աշխատանքները: Նրա գլխավորությամբ և անմիջական մասնակցությամբ ստեղծվել և ներդրվել են մի շարք կանոնադրական-նորմատիվ փաստաթղթեր, որոնք կանոնակարգում են ուսումնական գործընթացի, բուհերի և քոլեջների ստորաբաժանումների գործունեության կազմակերպման, ինչպես նաև պրոֆեսորադասախոսական կազմի ձևավորման խնդիրները:

Ակտիվ մասնակցել է «ՀՀ կրթության մասին», «ՀՀ բարձրագույն և հետբուհական մասնագիտական կրթության մասին» օրենքների մշակման և ընդունման գործընթացներին: 1998-2002 թթ. եղել է ԱՊՀ անդամակից երկրների Միջխորհրդարանական Համաժողովի Կրթության խորհրդի կրթական ստանդարտների հանձնաժողովի փոխնախագահը: Միջկառավարական հանձնաժողովների կազմում մասնակցել է ՀՀ-ի և 7 երկրների հետ կրթության և գիտատեխնիկական համագործակցության վերաբերյալ 14 համաձայնագրերի մշակման և ընդունման, ինչպես նաև ԱՊՀ անդամակից երկրների միասնական կրթական և գիտատեխնոլոգիական տարածք ստեղծելու կանոնադրական աշխատանքներին:

Դեռևս 70-ական թվականներին նա ԵրՊԻ մեքենաների մասերի ամբիոնում հիմնել է հոգնաձային փորձարկումների լաբորատորիա և ղեկավարում է հետազոտական խումբ, որի կազմում ընդգրկված են դասախոսներ, ասպիրանտներ և մագիստրանտներ:

Նրա հետազոտական գործունեությանը բնորոշ է առաջադրվող խնդիրների լուծման համալիր մոտեցումը՝ խնդրի հիմնավորումը, դրա ֆիզիկական և մաթեմատիկական մոդելների մշակումը, գիտափորձի մեթոդաբանության ստեղծումը և իրականացումը, փորձարարական տեխնիկայի, չափիչ-ստուգիչ սարքերի նախագծումը և կատարելագործումը, մաթ.վիճակագրության ժամանակակից մեթոդներով փորձի արդյունքների մշակումը, խնդրի ծրագրային ապահովումը, կոնստրուկտորական գործունեությունում և արտադրությունում առաջադրվող հաշվարկային մեթոդների և տեխնոլոգիական գործընթացների ներդրումը: Մ. Ստակյանի գիտական հետաքրքրությունների շրջանակն ընդգրկում է հետևյալ հարցերը՝ ծայրահեղ պայմաններում (փոփոխական բարդ լարվածային վիճակ, կոռոզիոն միջավայր, ջերմային և լազերային ճառագայթման ազդեցություն) աշխատող հանգույցների և մեքենամասերի հոգնաձային դիմադրության և ճաքակայունության հաշվարկային մեթոդների մշակում, հոգնաձային լավարկված գիտափորձի մեթոդաբանության ստեղծում, ճաքագոյացման և ճաքազարգացման մեխանիզմների

ուսումնասիրում, հոգնածային փորձարկումների և ճաքերի ուսումնասիրման համար անհրաժեշտ սարքավորման նախագծում, գիտափորձի մաթեմատիկական և ծրագրային ապահովում, նոր տեխնոլոգիական գործընթացների մշակում, որոնց արդյունքով, շնորհիվ հաշվարկների ճշտման և մշակվող կառուցվածքների ամրության և երկարակեցության ողջ գոյապաշարի օգտագործման, կարելի է հասնել մեքենաշինական արտադրանքի և տրանսպորտային միջոցների նյութատարության նվազեցման:

Մ. Ստակյանի հետազոտական խումբը մեր հանրապետության, ինչպես նաև ՌԴ-ի, Ուկրաինայի և Բելառուսի հետազոտական կենտրոնների, բուհերի և ձեռնարկությունների հետ համատեղ 1975–91թթ. իրականացրել է գիտատեխնիկական համագործակցության տասնյակ ծրագրեր, որոնց արդյունքներով էլեկտրամեքենաշինության, գյուղատնտեսական մեքենաների և տրանսպորտային միջոցների արտադրություններում ստացվել է որոշակի տնտեսական արդյունավետություն, առաջադրվել են նոր հաշվարկային մեթոդներ և տեխնոլոգիական գործընթացներ: Եվրոպական համագործակցության հետազոտական ծրագրերի շրջանակներում 1994–96թթ. գործուղվել է Աթենքի ազգային տեխնիկական համալսարան, Լոնդոնի Բրյունելի և Բելֆաստի Թագուհու համալսարաններ: Իր հետազոտությունների արդյունքները զեկուցել է 36 տարբեր գիտաժողովներում և հրատարակել է շուրջ 210 գիտական աշխատություններ, արժանացել ՀՀ-ում և ՌԴ-ում հաստատագրված 11 արտոնագրերի և մշակել 4 ստանդարտ հաշվողական ծրագրեր: Հրատարակել է գիտափորձի արդյունքների վիճակագրական մշակման և մեքենաների հուսալիության հաշվարկների վերաբերյալ երկու աշխատություն (20 տպ.մ.), կազմակերպել է 16 ասպիրանտների թեկնածուական ատենախոսությունների պաշտպանությունները, իրականացրել 4 դոկտորական ատենախոսությունների խորհրդատվություն, այժմ էլ ղեկավարում է ՀՊՀՀ ասպիրանտների և մագիստրանտների գիտական աշխատանքները, նրանց համար իրականացնում հետազոտական հատուկ դասընթացներ:

1977 թվականից նա համագործակցում է ՀՀ ԳԱԱ ֆիզ.–տեխ. բաժանմունքի աշխատանքներին որպես մեքենաշինության սեկցիայի խորհրդի և «ՀՀ ԳԱԱ և ՀՊՀՀ տեղեկագիր, տեխն. գիտ. սերիա» ամսագրի խմբագրական կոլեգիայի անդամ: Ակտիվ մասնակցում է Հայաստանի ճարտարագիտական ակադեմիայի (ՀՀԱ) մեքենաշինության և մետաղագործության բաժանմունքի աշխատանքներին: Նրա անմիջական մասնակցությամբ 2004թ. ստեղծվել է «ՀՀԱ Լրաբեր» հանդեսը, որի գլխավոր խմբագրի տեղակալն է:

Նա ՀՀ մեխանիկայի և մեքենաշինության գիտատեխնիկական ընկերակցության գիտատեխնիկական և գիտական աստիճաններ շնորհող խորհուրդների

անդամ է և մեծ ճանաչում ունի իր բնագավառի գիտնականների, հետազոտողների և ճարտարագետների շրջանում:

TEMPUS-TACIS միջազգային գիտակրթական ծրագրերի գծով 1998–2000թթ. ՀՀ ազգային կոորդինատորն էր և իր ավանդն ունի եվրոպական ծրագրերին հանրապետության գիտակրթական հիմնարկների և կազմակերպությունների մասնակցությունն ակտիվացնելու և համագործակցության արդյունավետությունը բարձրացնելու կարևոր գործում: Նույն համագործակցության շրջանակներում նրա գլխավորությամբ ավարտվել են «ԿԳ նախարարություն - բուհեր» տեղեկատվական-կառավարման համակարգչային ցանցի ձևավորման աշխատանքները (EDAR- 97 ծրագիրը՝ 600 000 ԱՄՆ դոլար ծավալով):

Պրոֆ. Մ. Ստակյանը ընդգծված բարյացակամ վերաբերմունք ունի իր գործընկերների և ճարտարագիտական բնագավառի մասնագետների նկատմամբ, առաջին իսկ հնարավորության դեպքում պատրաստ է աջակցելու նրանց գիտամեթոդական աշխատանքներում՝ միշտ պահպանելով հետազոտական էթիկայի նորմերը: Օգտվելով գիտափորձի կազմակերպման և իրականացման իր զգալի փորձառությունից, ինչպես նաև բազմամյա խմբագրական գործունեությունից՝ հատկապես զգայուն է երիտասարդ գիտաշխատողների նկատմամբ, որոնց միշտ օգնել է հետազոտություններ կատարելու և դրանց արդյունքները ձևակերպելու կարևոր փուլում: Օժտված լինելով ճարտարագիտական լայն մտահորիզոնով և միշտ հետևելով իր և հարակից ոլորտների նորույթներին՝ նա կարողանում է ճիշտ կողմնորոշվել և ծագած հիմնախնդիրների նկատմամբ լավարկային լուծման տարբերակներ առաջադրել: Այդ իսկ պատճառով բնագավառի մասնագետները հաճույքով են նրան դիմում և միշտ ստանում սպառիչ խորհրդատվություն:

Պրոֆ. Մ. Ստակյանը իր 70-ամյակն է թևակոխում ստեղծագործական վերելքի պայմաններում և երիտասարդական ավյունով շարունակում դեկավարել իր հետազոտական խմբի աշխատանքները՝ դրանում ներգրավելով նորանոր երիտասարդ գիտաշխատողներին:

Խմբագրական կոլեգիան շնորհավորում է Միհրան Գրիգորի Ստակյանին հոբելյանի կապակցությամբ, ցանկանում քաջառողջություն, երկարակեցություն և ստեղծագործական նորանոր հաջողություններ:

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՂԱԶԱՐՅԱՆ Ս.Դ., ՄԱՐԳՍՅԱՆ Ս.Ա., ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ Ս.Գ., ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ Վ.Հ.

ՄԱՐԴՈՒ ՔԱՅԼԵԼՈՒ ԵՎ ՆՍՏԵԼ-ԵԼՆԵԼՈՒ ԱՄԻՍՏԵԼՏ-ԷԿՁՈՍԿԵԼԵՏՈՆԻ
ՆԱԽԱԳԾՈՒՄ 343

ԲԱԼԱՍՄԱՆՅԱՆ Բ.Ս., ՅՈՒՐՄՈՒՋՅԱՆ Դ.Գ.

ԲԱԶՄԱՍՏԻՃԱՆ ՍԱՅՐ ՈՒՆԵՅՈՂ ԿՏՐԻՉՈՎ ԳՈՒՄԱՐԱՅԻՆ ՈՒԺԻ
ՆՎԱԶԵՅՄԱՆ ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՄԱՍԻՆ 350

ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ Գ.Ս., ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ Կ.Գ., ՄՂԲԱԼՅԱՆ Կ.Ս., ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ Ն.Գ., ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ Ս.Ո.

ԴԻՖՈՒԶԻԱՅԻ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԸ ԵՎ ԴԻՖՈՒԶԻՈՆ ՇԵՐՏԻ ՍՏԱՅՈՒՄՆ
ԱՐԱԳԱՀԱՏ ՊՈՂՊԱՏՆԵՐԻ ՎՐԱ 356

ԵՍՍՅԱՆ Ս.Գ.

ԲԵՏՈՆԻ ՍՈՂՔԻ ԵՎ ԾԵՐԱՅՄԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅԱՆ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԻՆՏԵԳՐԱԼ
ՀԱՎԱՍՄԱՐՄԱՆ ԼՈՒԾՄԱՆ ՄԱՍԻՆ 363

ՄԱՅԱՐՅԱՆ Վ.Ս., ՄԱՅԱՐՅԱՆ Լ.Վ.

ՄԻՆԲՐՈՆ ՄԵՔԵԼԱՅԻ ՍՏԱՅԻՈՆԱՐ ՌԵԺԻՄԻ ԳՈՅՈՒԹՅԱՆ ԵՎ
ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ 368

ՂԱԶԱՐՅԱՆ Ա.ՅՈՒ.

ՏԵՂԵԿԱՏՎԱԿԱՆ ՑԱՆՅԵՐՈՒՄ ԳՐՈՀՆԵՐԻ ՀԱՅՏՆԱԲԵՐՄԱՆ ԱՎՏՈՄԱ-
ՏԱՅՎԱԾ ՄԻՋՈՑՆԵՐԻ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄ ՆԵՅՐՈՑԱՆՅԵՐԻ
ՄԻՋՈՑՈՎ 380

ՓԻՐՈՒՍՅԱՆ Հ.Ա.

ԿԱՐԿՏԱԲԵՐ ԱՄՊԵՐԻ ՄԻԿՐՈԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԱՅԻՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ
ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՄԱՆ ՌԱԴԻՈՋԵՐՄԱԼՈԿԱՅԻՈՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳ 388

ՆԵՐՍԵՍՅԱՆ Հ.Ա., ՄԱՐԿՈՍՅԱՆ Մ.Վ., ՄԱՐԳՍՅԱՆ Ա.Ս.

ԲԱՅՎԱԾՔԻ ԳՈՏՈՒՄ ԱՆՏԵՆԱՆԵՐԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՉԱՓՈՒՄԻՑ
ՍՏԱՅՎԱԾ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԻ ՄՇԱԿՄԱՆ ԾՐԱԳՐԱՅԻՆ ՓԱԹԵԹԻ
ՆԱԽԱԳԾՈՒՄ 394

ՄԱՆՈՅԱՆ Ա.Ա.

ՀԵՌԱՎՈՐ ՕԲՅԵԿՏՆԵՐԻ ՎԵՐԱՀՄԿՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳ 399

ԹՈՈՂՅԱՆ Կ.Ա.

ՄԹՆՈԼՈՐՏՈՒՄ SO₂ ԳԱԶԻ ԱՐՏԱՆԵՏՄԱՆ ԶԱՐԳԱՅՄԱՆ ԷՎՈԼՅՈՒՑԻՈՆ
ՊԱՏԿԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՄԱՆ ՔՎԱԶԻՄԻԿՐՈՍԿՈՊԻԿ ՍՈՏԵՅՈՒՄ 405

ԱՇՇԻԹՅԱՆ Է.Պ.

ԽՈՂՈՎԱԿԻ ՍԿԶԲՆԱՄԱՍԻ ԵՐԿԱՐՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ՄԱԾՈՒՑԻԿ
ՉՍԵՂՄՎՈՂ ՀԵՂՈՒԿԻ ԼԱՍԻՆԱՐ ՀՈՍՔԻ ԶԱՐԳԱՅՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ 414

ՍՏԱԿՅԱՆ Ս.Գ.

ԾՆՆՂՅԱՆ 70-ԱՍՅԱԿԻ ԿԱՊԱԿՅՈՒԹՅԱՄԲ 420

СОДЕРЖАНИЕ

КАЗАРЯН С.Д., САРГСЯН С.А., АРУТЮНЯН М.Г., АРАКЕЛЯН В.А.	
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭКЗОСКЕЛЕТОНА-АССИСТЕНТА	
ХОДЬБЫ И ПРИСЕДАНИЯ ЧЕЛОВЕКА	343
БАЛАСАНИЯН Б.С., ЮРМУЗЯН Д.Г.	
О ВОЗМОЖНОСТЯХ СНИЖЕНИЯ СУММАРНОЙ СИЛЫ РЕЗАНИЯ	
РЕЗЦОМ С МНОГОСТУПЕНЧАТЫМ ЛЕЗВИЕМ	350
ОВСЕПЯН Г.С., КАРАПЕТАН К.Г., АГБАЛЯН К.С., ОВСЕПЯН Н.Г.,	
ВАРДАНИЯН С.В.	
ПРОЦЕСС ДИФфуЗИИ И ПОЛУЧЕНИЕ ДИФфуЗИОННОГО СЛОЯ НА	
БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЯХ	356
ЕСАЯН С.Г.	
К РЕШЕНИЮ ОСНОВНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ТЕОРИИ	
ПОЛЗУЧЕСТИ И СТАРЕНИЯ БЕТОНА	363
САФАРЯН В.С., САФАРЯН Л.В.	
ИССЛЕДОВАНИЕ СУЩЕСТВОВАНИЯ И УСТОЙЧИВОСТИ	
СТАЦИОНАРНОГО РЕЖИМА СИНХРОННОЙ МАШИНЫ	368
КАЗАРЯН А.Ю.	
ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СРЕДСТВ	
ОБНАРУЖЕНИЯ СЕТЕВЫХ АТАК В ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЯХ	
ПОСРЕДСТВОМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОСЕТЕЙ	380
ПИРУМЯН Г.А.	
РАДИОТЕПЛОЛОКАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ	
МИКРОСТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГРАДОВЫХ ОБЛАКОВ	388
НЕРСЕСЯН А.А., МАРКОСЯН М.В., САРГСЯН А.С.	
РАЗРАБОТКА ПАКЕТА ПРОГРАММ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ,	
ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПАРАМЕТРОВ АНТЕНН В ЗОНЕ ИХ	
РАСКРЫВА	394
САНОЯН А.А.	
СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ДАЛЬНИХ ОБЪЕКТОВ	399
ТОРЧЯН К.А.	
КВАЗИМИКРОСКОПИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ	
ЭВОЛЮЦИОННОЙ КАРТИНЫ РАЗВИТИЯ ВЫБРОСОВ	
ГАЗА SO ₂ В АТМОСФЕРЕ	405
АЩИАНИЦ Э.П.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ НАЧАЛЬНОГО УЧАСТКА ПРИ РАЗВИТИИ	
ЛАМИНАРНОГО ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ В	
КРУГЛОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТРУБЕ	414
СТАКЯН М.Г.	
К 70-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ	420

CONTENTS

<i>GHAZARYAN S.D., SARGSYAN S.A., HARUTYUNYAN M.G., ARAKELYAN V.H.</i>	
THE DESIGN OF EXOSKELETON-ASSISTANT OF HUMAN WALK AND SIT-TO-STAND	343
<i>BALASANYAN B.S., YURMUZYAN D.G.</i>	
ON POSSIBILITIES OF DECREASING TOTAL FORCE OF CUTTING BY THE CUTTER WITH A MULTISTEPPED BLADE	350
<i>HOVSEPYAN G.S., KARAPETYAN K.G., AGHBALYAN K.S., HOVSEPYAN N.G., VARDANYAN S.V.</i>	
THE EQUATION, PROCESS OF DIFFUSION AND RECEPTION OF THE DIFFUSIVE LAYER ON FAST-CUTTING STEELS	356
<i>YESAYAN S.G.</i>	
TO THE SOLUTION OF BASIC INTEGRAL EQUATIONS IN CONCRETE CREEPING AND AGING THEORY	363
<i>SAFARYAN V.S., SAFARYAN L.V.</i>	
INVESTIGATION ON STATIONARY EXISTENCE AND STABILITY SYNCHRONOUS MACHINE MODE	368
<i>GHAZARYAN A.Yu.</i>	
DESIGNING OF NETWORK ATTACK BY AUTOMATED SENSORS BY MEANS OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS	380
<i>PIRUMYAN H.A.</i>	
A HEAT-SEEKING SYSTEM FOR HAIL CLOUDS MICROSTRUCTURAL PARAMETER STUDYING	388
<i>NERSESYAN H.A., MARKOSYAN M.V., SARGSYAN A.S.</i>	
DESIGN OF PROGRAM PACKAGE ON DEVELOPMENT OF RESULTS OBTAINED IN ANTENNA PARAMETER MEASUREMENT IN APERTURE ZONE	394
<i>SANOYAN A.A.</i>	
MONITORING SYSTEM FOR DISTANT OBJECTS	399
<i>TORCHYAN K.A.</i>	
QUASIMICROSCOPIC APPROACH TO THE RESEARCH OF EVOLUTIONAL PATTERN OF SO ₂ GAS EMISSION PROGRESS	405
<i>ASHCHIANTS E.P.</i>	
INITIAL PIPE SECTION LENGTH FLOW OF VISCOUS INCOMPRESSIBLE FLUID IN CIRCULAR CYLINDRICAL PIPE	414
<i>STAKYAN M.G.</i>	
TO THE 70-TH ANNIVERSARY OF THE BIRTH	420