The economy of the use of a nutrient solution by the irrigation management system with biometric data on the plant as compared with a conventional system with a time regime reaches 30%.

Keywords: ***algorithm, control modes, drip irrigation, microclimate in the greenhouse, sensor, phytomonitoring***

УДК 514.18

НЕПЕРЕВНЕ ЗГИНАННЯ МІНІМАЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ, УТВОРЕНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕВОЛЬВЕНТИ КОЛА, ЗАДАНОЇ ФУНКЦІЯМИ НАТУРАЛЬНОГО ПАРАМЕТРА

С. Ф. ПИЛИПАКА, доктор технічних наук**,** професор
М. М. МУКВИЧ, кандидат технічних наук**,** доцент
Національний університет біоресурсів і природокористування України
E-mail: engmech_centre@twin.nauu.kiev.ua

Анотація. *У цій статті здійснено аналітичний опис ізотропних ліній та мінімальних поверхонь за допомогою функцій комплексної змінної. Для знаходження рівнянь ізотропних ліній використано параметричні рівняння евольвенти кола, заданої функціями натурального параметра. Аналітичний опис мінімальних поверхонь та приєднаних мінімальних поверхонь здійснено у комплексному просторі з ізотропними лініями у ролі ліній сітки переносу. За згинання мінімальних поверхонь знайдено однопапараметричну множину асоційованих мінімальних поверхонь. Наведено вирази коефіцієнтів першої та другої квадратичних форм утворених мінімальних поверхонь. Показано, що евольвента кола, задана функціями натурального параметра, належить утвореним мінімальним поверхням.*

У загальному випадку для будь-якої плоскої кривої, яку задано параметричними рівняннями натурального параметра, можна знайти аналітичний опис ізотропної лінії нульової довжини. Кожній ізотропній лінії відповідає мінімальна поверхня та приєднана мінімальна поверхня, які допускають неперервне згинання. Використання функцій комплексної змінної дозволяє отримати нескладний аналітичний опис мінімальних поверхонь та досліджувати їх конструктивні геометричні параметри.

Перспективи подальших досліджень полягають у визначенні диференціальних характеристик утворених мінімальних поверхонь для оптимізації інженерних методів проектування поверхонь технічних форм.

Ключові слова: ізотропна лінія, мінімальна поверхня, приєднана мінімальна поверхня, асоційована мінімальна поверхня, евольвента кола, квадратична форма поверхні, згинання поверхні, функція комплексної змінної

Актуальність. Дослідження методів аналітичного опису мінімальних поверхонь є важливою проблемою геометричного моделювання поверхонь технічних форм та архітектурних конструкцій. Мінімальна поверхня, яка проходить через замкнену плоску або просторову лінію, має найменшу площу. Геометрична форма мінімальної поверхні забезпечує рівномірний розподіл зусиль в оболонці та додаткову жорсткість [1, с. 43].

Знаходження аналітичного опису мінімальної поверхні, яка проходить через замкнену лінію, зводиться до розв'язування нелінійного диференціального рівняння Ейлера-Лагранжа у частинних похідних, яке у загальному випадку не інтегрується [2, с. 683]. Тому одним із напрямів сучасних досліджень є удосконалення чисельних методів розв'язування диференціального рівняння Ейлера-Лагранжа [3, 4].

Для знаходження аналітичного опису мінімальних поверхонь існує інший напрям наукових досліджень, пов'язаний із використанням властивостей функцій комплексної змінної, що дозволяє отримати параметричні рівняння мінімальних поверхонь, досліджувати їх диференціальні характеристики, оптимізувати інженерні методи проектування поверхонь технічних форм.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для знаходження аналітичного опису мінімальних поверхонь за допомогою функцій комплексної змінної необхідно визначити параметричні рівняння ізотропної лінії нульової довжини [5]. Метод аналітичного опису ізотропних кривих, які лежать на поверхнях обертання, віднесених до сітки ізометричних ліній, реалізовано у роботах [6, 7]. Дослідження, опубліковані у статті [8], присвячені задачі аналітичного опису ізотропних кривих за допомогою логарифмічної спіралі – їх горизонтальної проекції. Слід зазначити, що потребує дослідження аналітичний опис ізотропних ліній за допомогою плоских кривих, заданих функціями натурального параметра.

Мета дослідження – знайти аналітичний опис ізотропної лінії за допомогою евольвенти кола, заданої функціями натурального параметра. За допомогою знайденої ізотропної лінії визначити однопараметричну множину асоційованих мінімальних поверхонь, які допускають неперервне згинання.

Матеріали і методи дослідження. Аналітичний опис мінімальних поверхонь здійснено у комплексному просторі з твірними ізотропними лініями переносу.

Результати дослідження та їх обговорення. Розглянемо плоску криву, задану параметричними рівняннями від довжини її дуги s:

$$x = x(s);\ y = y(s), \tag{1}$$

де s – натуральний параметр плоскої кривої, тоді [6]: $\left(\frac{dx}{ds}\right)^2 + \left(\frac{dy}{ds}\right)^2 = 1.$

Просторова крива, задана рівняннями:

$$x = x(s);\ y = y(s);\ z = i \cdot s, \tag{2}$$

де i – уявна одиниця.

Дана крива є уявною ізотропною кривою нульової довжини, бо її диференціал дуги дорівнює:

$$\sqrt{\left(\frac{dx}{ds}\right)^2+\left(\frac{dy}{ds}\right)^2+\left(\frac{dx}{ds}\right)^2}\cdot ds=0.$$

Для знаходження рівнянь мінімальної та приєднаної до неї мінімальної поверхні необхідно в параметричних рівняннях ізотропної кривої (2) увести заміну [6]: $s=u+i\cdot v$. Тоді отримаємо параметричні рівняння мінімальної поверхні $X(u,v),Y(u,v),Z(u,v)$:

$$X(u,v)=\operatorname{Re}\left(x(u+i\cdot v)\right);\ Y(u,v)=\operatorname{Re}\left(y(u+i\cdot v)\right);\ Z(u,v)=\operatorname{Re}\left(i\cdot(u+i\cdot v)\right);\tag{3}$$

та приєднаної мінімальної поверхні $X^*(u,v),Y^*(u,v),Z^*(u,v)$:

$$X^*(u,v)=\operatorname{Im}\left(x(u+i\cdot v)\right);\ Y^*(u,v)=\operatorname{Im}\left(y(u+i\cdot v)\right);\ Z^*(u,v)=\operatorname{Im}\left(i\cdot(u+i\cdot v)\right).\tag{4}$$

Кількість плоских кривих, параметричні рівняння яких можна записати за допомогою функцій натурального параметра – обмежена, але для кожної з них можна знайти аналітичний опис мінімальної (3) та приєднаної мінімальної поверхні (4), причому мінімальна поверхня (3) буде проходити через плоску криву (1).

Розглянемо евольвенту кола, задану рівняннями від натурального параметра s:

$$x(s)=a\cos\left(\sqrt{\frac{2s}{a}}\right)+a\cdot\sqrt{\frac{2s}{a}}\sin\left(\sqrt{\frac{2s}{a}}\right);\ y(s)=a\sin\left(\sqrt{\frac{2s}{a}}\right)-a\cdot\sqrt{\frac{2s}{a}}\cos\left(\sqrt{\frac{2s}{a}}\right),\tag{5}$$

де $a>0$ – радіус кола.

Тоді рівняння ізотропної кривої, горизонтальною проекцією якої є евольвента кола (5), має вигляд:

$$\begin{gathered}x(s)=a\cos\left(\sqrt{\frac{2s}{a}}\right)+a\cdot\sqrt{\frac{2s}{a}}\sin\left(\sqrt{\frac{2s}{a}}\right);\\ y(s)=a\sin\left(\sqrt{\frac{2s}{a}}\right)-a\cdot\sqrt{\frac{2s}{a}}\cos\left(\sqrt{\frac{2s}{a}}\right);\qquad z(s)=i\cdot s.\end{gathered}\tag{6}$$

Уведемо заміну $s=u+i\cdot v$, тоді, відокремивши дійсну та уявну частину для кожної з функцій, згідно (3), (4), маємо рівняння мінімальної поверхні:

$$\begin{aligned}X(u,v)&=a\cdot\operatorname{ch}(m\cdot\sin\alpha)\cdot\left(\cos(m\cdot\cos\alpha)+m\cdot\cos\alpha\cdot\sin(m\cdot\cos\alpha)\right)-\\&\quad-a\cdot m\cdot\cos(m\cdot\cos\alpha)\cdot\sin\alpha\cdot\operatorname{sh}(m\sin\alpha);\\ Y(u,v)&=a\cdot\operatorname{ch}(m\cdot\sin\alpha)\cdot\left(\sin(m\cdot\cos\alpha)-m\cdot\cos\alpha\cdot\cos(m\cdot\cos\alpha)\right)-\\&\quad-a\cdot m\cdot\sin(m\cdot\cos\alpha)\cdot\sin\alpha\cdot\operatorname{sh}(m\sin\alpha);\\ Z(u,v)&=-v,\end{aligned}\tag{7}$$

де $\alpha = \alpha(u,v) = \frac{1}{2}\cdot arctg\left(\frac{v}{u}\right)$; $m = m(u,v) = \sqrt{2}\cdot\left(\frac{u^2+v^2}{a^2}\right)^{\frac{1}{4}}$.

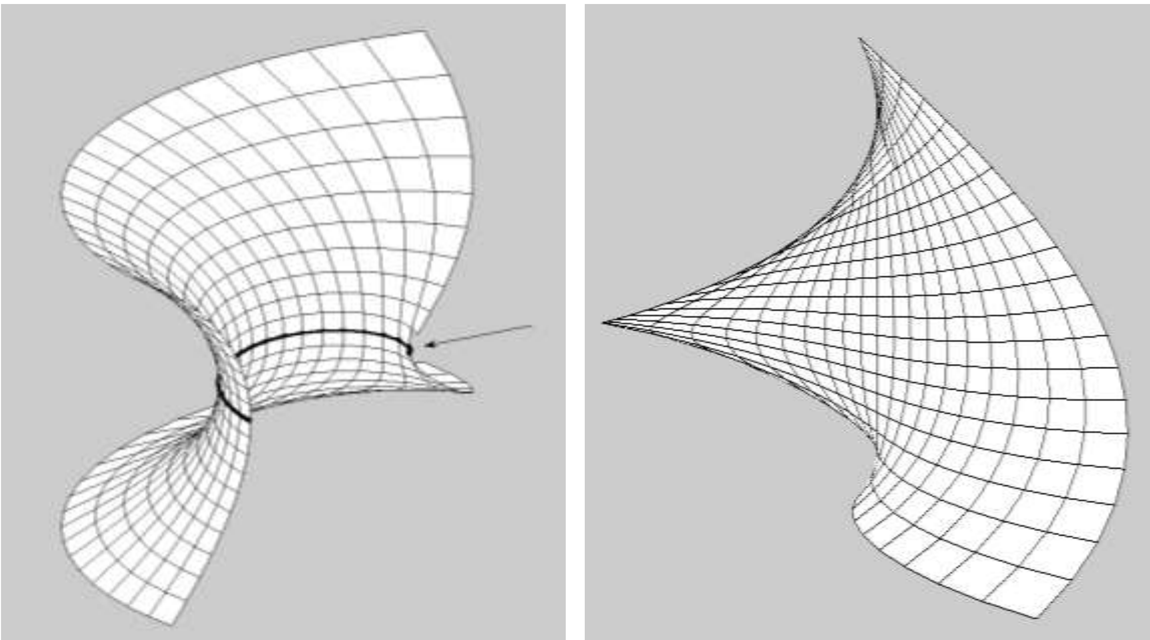
Рівняння приєднаної мінімальної поверхні:

$$\begin{aligned}
X^*(u,v) &= a\cdot \mathrm{sh}(m\cdot\sin\alpha)\cdot\left(-\sin(m\cdot\cos\alpha)+m\cdot\cos\alpha\cdot\cos(m\cdot\cos\alpha)\right)+\\
&\quad + a\cdot m\cdot\sin(m\cdot\cos\alpha)\cdot\sin\alpha\cdot\mathrm{ch}(m\sin\alpha);\\
Y^*(u,v) &= a\cdot \mathrm{sh}(m\cdot\sin\alpha)\cdot\left(\cos(m\cdot\cos\alpha)+m\cdot\cos\alpha\cdot\sin(m\cdot\cos\alpha)\right)-\\
&\quad - a\cdot m\cdot\cos(m\cdot\cos\alpha)\cdot\sin\alpha\cdot\mathrm{ch}(m\sin\alpha);\\
Z^*(u,v) &= u,
\end{aligned} \tag{8}$$

де $\alpha = \alpha(u,v) = \frac{1}{2}\cdot arctg\left(\frac{v}{u}\right)$; $m = m(u,v) = \sqrt{2}\cdot\left(\frac{u^2+v^2}{a^2}\right)^{\frac{1}{4}}$.

На рис. 1 зображено відсіки мінімальної та приєднаної поверхонь, побудованих за рівняннями (7) і (8) відповідно за $a = 2$; $u \in [0;...20]$; $v \in [-10;...10]$. На рис. 1,а стрілкою позначена потовщена евольвента кола. Коефіцієнти першої квадратичної форми мінімальної поверхні (7) та приєднаної поверхні (8) дорівнюють:

$$E = G = \mathrm{ch}^2\left(\sqrt{2}\cdot\left(\frac{u^2+v^2}{a^2}\right)^{\frac{1}{4}}\cdot\sin\left(\frac{1}{2}arctg\frac{v}{u}\right)\right);\ F = 0. \tag{9}$$



а б

Рис. 1. Відсіки мінімальних поверхонь, побудованих за допомогою ізотропної кривої, горизонтальною проекцією якої є евольвента кола:

а) відсік мінімальної поверхні, побудованої за рівняннями (7);

б) відсік приєднаної мінімальної поверхні, побудованої за рівняннями (8)

Коефіцієнти другої квадратичної форми мінімальної поверхні (7), знайдені за відомими формулами диференціальної геометрії [6], дорівнюють:

$$L=-N=\frac{a\cdot\left(\frac{u^2+v^2}{a^2}\right)^{\frac{1}{4}}\cdot\left[(u^2-v^2)\cos\left(\frac{3}{2}arctg\frac{v}{u}\right)+2uv\sin\left(\frac{3}{2}arctg\frac{v}{u}\right)\right]}{\sqrt{2}\,(u^2+v^2)^{2}};$$

$$M=\frac{a\cdot\left(\frac{u^2+v^2}{a^2}\right)^{\frac{1}{4}}\cdot\left[(u^2-v^2)\sin\left(\frac{3}{2}arctg\frac{v}{u}\right)-2uv\cos\left(\frac{3}{2}arctg\frac{v}{u}\right)\right]}{\sqrt{2}\,(u^2+v^2)^{2}}. \tag{10}$$

Коефіцієнти другої квадратичної форми приєднаної мінімальної поверхні (8), дорівнюють:

$$L^*=-N^*=M;\ \ M^*=L.$$

Коефіцієнти першої та другої квадратичних форм побудованих поверхонь (7) та (8), перетворюють вираз середньої кривини *H* для кожної із вказаних поверхонь до нуля:

$$H=\frac{E\cdot N-2\cdot F\cdot M+G\cdot L}{2(E\cdot G-F^2)}.$$

Утворені мінімальні поверхні (7) та (8), маючи рівні відповідні вирази коефіцієнтів першої квадратичної форми, допускають неперервне згинання одна на одну. Рівняння однопараметричної множини асоційованих мінімальних поверхонь мають вигляд [8]:

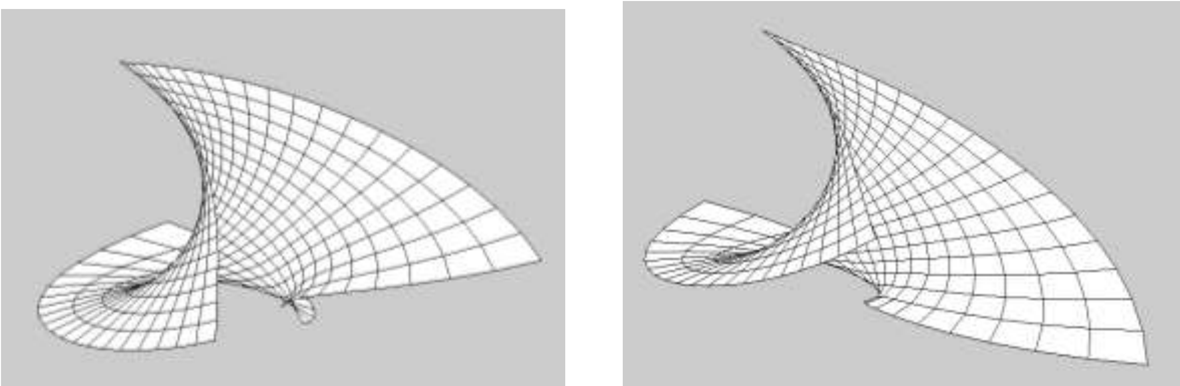
$$\begin{aligned} X_\varphi(u,v)&=X(u,v)\cdot\cos\varphi+X^*(u,v)\cdot\sin\varphi;\\ Y_\varphi(u,v)&=Y(u,v)\cdot\cos\varphi+Y^*(u,v)\cdot\sin\varphi;\\ Z_\varphi(u,v)&=Z(u,v)\cdot\cos\varphi+Z^*(u,v)\cdot\sin\varphi, \end{aligned} \tag{11}$$

де $X(u,v),Y(u,v),Z(u,v)-$ параметричні рівняння мінімальної поверхні (7);

$X^*(u,v),Y^*(u,v),Z^*(u,v)-$ параметричні рівняння приєднаної мінімальної поверхні (8);

$\varphi-$ параметр згинання поверхонь, $\varphi\in\left[0;\ \frac{\pi}{2}\right]$.

За $\varphi=0$ рівняння (11) задають мінімальну поверхню (7), за $\varphi=\frac{\pi}{2}$ рівняння (11) задають приєднану мінімальну поверхню (8), а за інших значень $\varphi\in\left(0;\ \frac{\pi}{2}\right)$ рівняння (11) задають асоційовані мінімальні поверхні.



а б

Рис. 2. Відсіки множини асоційованих мінімальних поверхонь, отриманих за рівняннями (11): а) за $\varphi = \frac{\pi}{4}$; б) за $\varphi = \frac{3\pi}{8}$

На рис. 2 зображено відсіки асоційованих мінімальних поверхонь, отриманих за рівняннями (11) для різних значень параметра φ за неперервного згинання мінімальної поверхні (7) до приєднаної мінімальної поверхні (8), побудовані за $a = 2$; $u \in [0;...20]$; $v \in [-10;...10]$. Усі побудовані асоційовані мінімальні поверхні мають рівні відповідні вирази (9) коефіцієнтів першої квадратичної форми.

Використання плоских кривих, заданих параметричними рівняннями натурального параметра, дозволяє отримати порівняно нескладний аналітичний опис мінімальних поверхонь для подальших досліджень їх диференціальних властивостей.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Для будь-якої плоскої кривої, яку задано параметричними рівняннями натурального параметра, можна знайти аналітичний опис ізотропної лінії нульової довжини. Кожній ізотропній лінії відповідає мінімальна поверхня та приєднана мінімальна поверхня, які допускають неперервне згинання. Перспективи подальших досліджень полягають у дослідженні диференціальних характеристик утворених мінімальних поверхонь та оптимізації інженерних методів проектування поверхонь технічних форм.

Список використаних джерел

1. Михайленко, В. Е. Конструирование форм современных архитектурных конструкций [Текст] / В. Е. Михайленко, С. Н. Ковалёв. – К.: Будівельник, 1978. – 112 с.

2. Математическая энциклопедия [Текст] / [гл. ред. И. М. Виноградов]. – Т. 3. – М.: Изд–во «Советская энциклопедия», 1982. – С. 683–690.

3. Гацунаев, М. А. О равномерной сходимости кусочно-линейных решений уравнения минимальной поверхности [Текст] / М. А. Гацунаев, А. А. Клячин // Уфимский математич. журнал. – 2014. – Т. 6. – №3. – С. 3–16.

4. Hwang, Jenn-Fang. A uniqueness theorem for the minimal surface aquation [Text] // Pasific Journal of Mathematics. 1996. №176(2).– 357–364.

5. Фиников, С. П. Теория поверхностей [Текст] / С. П. Фиников. – М. – Л.: ГТТИ, 1934. – 206 с.

6. Пилипака, С. Ф. Аналітичнй опис ізотропнх ліній на поверхні псевдосфери та побудова мінімальних поверхонь [Текст] / С. Ф. Пилипака, М. М. Муквич // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – 2016. – №254. – С. 202–210.

7. Пилипака, С. Ф. Конструирование минимальных поверхностей с помощью изотропных кривых, лежащих на поверхности тора [Текст] / С. Ф. Пилипака, Н. Н. Муквич // An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery «MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture»/ Polish Academy of Sciences, University of Engineering and Economics in Rzeszow, University of Life Sciences in Lublin.– Vol. 18, No 3. – Lublin – Rzeszov, 2016. – С. 101 – 110.

8. Пилипака, С. Ф. Утворення ізотропних ліній та мінімальних поверхонь за допомогою плоских кривих, заданих функціями натурального параметра [Електронний ресурс] / С. Ф. Пилипака, М. М. Муквич // Наукові доповіді НУБіП України. – 2016. – №7 (64). Режим доступу .: http://journals.nubip.edu.ua/index.php/ Dopovidi/article/view/7734

References

1. Mikhailenko, V. E., Kovalev, S. N. (1978). Konstruirovanie form sovremennykh arkhitekturnykh konstruktsiy [Construction of forms of modern architectural structures]. Kiev: Budivel'nyk, 112.

2. Matematicheskaya entsyklopediya. (1982). [Encyclopedia of mathematics]. Moscow: Sovetskaya entsyklopediya, 683–690.

3. Hatsunaev, M. A., Klyachin, A. A. (2014). O ravnomernoy skhodimosti kusochno-lineynykh resheniy uravneniya minimal'noy poverkhnosti [On uniform convergence of piecewise-linear solutions to minimal surface equation]. Ufimskiy matematych. zhurnal, 6(3), 3–16.

4. Hwang, Jenn-Fang. (1996). A uniqueness theorem for the minimal surface aquation. Pasific Journal of Mathematics, 176(2), 357–364.

5. Finikov, S. P. (1934). Teoriya poverkhnostey [Theory of surfaces]. Moskva–Leningrad: HTTI, 206.

6. Pylypaka, S. F., Mukvych, M. M. (2016). Analitychni opys izotropnkh linii na poverkhni psevdosfery ta pobudova minimalnykh poverkhon [Analytical description isotropic line on surface pseudosphere and construction minimal surfaces]. Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriia: tekhnika ta enerhetyka APK, 254, 202–210.

7. Pilipaka, S.F. (2016). Konstruirovanie minimal'nyh poverhnostej s pomoshh'ju izotropnyh krivyh, lezhashhih na poverhnosti tora [Construction a minimal surfaces using isotropic curves lying on the surfase of a torus]. An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery «MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture»/ Polish Academy of Sciences, University of Engineering and Economics in Rzeszow, University of Life Sciences in Lublin, 18(3), 101 – 110.

8. Pylypaka, S. F., Mukvych, M. M. (2016). Utvorennia izotropnykh linii ta minimalnykh poverkhon za dopomohoiu ploskykh kryvykh, zadanykh funktsiiamy naturalnoho parametra [Modelling of isotropic lines and minimal surfaces with a help of flat curves, given by natural parameter functions]. Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy, 7 (64). Available at: http://journals. nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/ article/view/7734

НЕПРЕРЫВНОЕ ИЗГИБАНИЕ МИНИМАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ, ОБРАЗОВАННЫХ С ПОМОЩЬЮ ЭВОЛЬВЕНТЫ ОКРУЖНОСТИ, ЗАДАННОЙ ФУНКЦИЯМИ НАТУРАЛЬНОГО ПАРАМЕТРА

С. Ф. Пилипака, Н. Н. Муквич

Аннотация. *В данной статье получено аналитическое описание изотропных линий и минимальных поверхностей с помощью функций комплексной переменной. Для нахождения уравнений изотропных линий использовані параметрические уравнения эвольвенты окружности, заданной функциями натурального параметра. Аналитическое описание минимальных поверхностей и присоединённых минимальных поверхностей осуществлено в комплексном пространстве с изотропными линиями в качестве линий сети переноса. При изгибании минимальных поверхностей получено однопапараметрическое множество ассоциированных минимальных поверхностей. Приведены выражения коэффициентов первой и второй квадратичных форм образованных минимальных поверхностей. Показано, что плоские кривые, заданные функциями натурального параметра, принадлежат к образованным минимальным поверхностям. Показано, что эвольвента окружности, заданная функциями натурального параметра, принадлежит к образованным минимальным поверхностям.*

В общем случае для произвольной плоской кривой, заданной параметрическими уравнениями натурального параметра, можно отыскать аналитическое описание изотропной линии нулевой длинны. Каждой изотропной линии соответствует минимальная поверхность и присоединённая минимальная поверхность, которые допускают непрерывное изгибание. Использование функций комплексной переменной позволяет получить несложное аналитическое описание минимальных поверхностей и исследовать их конструктивные геометрические параметры.

Перспективы дальнейших исследований заключаются в определении дифференциальных характеристик образованных минимальных поверхностей для оптимизации инженерных методов проектирования поверхностей технических форм.

Ключевые слова: ***изотропная линия, минимальная поверхность, присоединённая минимальная поверхность, ассоциированная минимальная поверхность, эвольvenты окружности, квадратичная форма поверхности, изгибание поверхности, функция комплексного переменного***

CONTINUOUS BENDING OF A MINIMAL SURFACES FORMED WITH A HELP OF EVOLVENT OF A CIRCLE, GIVEN BY NATURAL PARAMETER FUNCTIONS

S. F. Pylypaka, M. M. Mukvich

Abstract. *This article provides an analytical description of isotropic lines and minimal surfaces with a help of complex variable functions. To find the equation of isotropic lines we used parametric equations of a evolvent of a circle defined by natural parameter functions. Analytical description of minimal surfaces and connected minimal surfaces in complex space made of isotropic lines as lines of a translation net. When bending minimal surfaces one-parameter set of associated minimal surfaces was found. Expression of first and second coefficients of quadratic forms of generated minimal surfaces are given. It is shown that the evolvent of a circle, given by natural parameter functions, belong to formed minimal surfaces.*

It is possible to find an analytical description of isotropic line of zero length for any plane curve defined by parametric equations of natural parameter. Each isotropic line corresponds to the minimum isotropic surface and associated minimal surface that allow continuous bending. Use of function of a complex variable allows to get a simple analytical description of minimal surfaces, investigate their design geometrical parameters. Prospects for future research is to study the differential characteristics of adjoint minimal surfaces and optimization of engineering methods of technical surfaces forms design.

Keywords: ***isotropic line, minimal surface, minimal surface, adjoint minimal surface, associated minimal surface, a evolvent of a circle, quadratic form of a surface, bending of a surface, function of a complex variable***

УДК 621.385: 631.234

ОБГРУНТУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ СИСТЕМИ СВІТЛОДІОДНОГО ОПРОМІНЕННЯ ТЕПЛИЧНИХ РОСЛИН

Л. С. ЧЕРВІНСЬКИЙ, доктор технічних наук, професор
Т. С. КНИЖКА, кандидат технічних наук, асистент
О. І. РОМАНЕНКО, старший викладач
Я. М. ЛУЦАК, інженер
Національний університет біоресурсів і природокористування України
E-mail: lchervinsky@gmail.com

Анотація. *Оскільки в освітлювальних установках України витрачається приблизно 25 % генерованої електричної енергії, то підвищення енергоефективності оптичних установок є актуальним завданням.*

Метою проведених досліджень є обґрунтування необхідності використання світлодіодних джерел світла в теплиці для опромінення рослин і розробка енергоефективної системи та режимів опромінення.