

ОАӨІ Ғ Җ АҢҖ Ғ А  
І АӨҖ Ғ



ӨОЖ: 621.831.001.24

**Е.Т. Абильмажинов, К.С.Турусбеков, Д.К. Дүкенбаев, С.Ш. Жұмағали**  
Семей қаласының Шәкәрім атындағы мемлекеттік университеті, Семей қ.

#### БУЫНТЫҚТЫ БЕРІЛІСТЕРДЕГІ ЖЫЛУАЛМАСТЫРУДЫ МОДЕЛЬДЕУ

Өндіріс технологиясы мен жобалау әдісінің дамуына байланысты буынтықты берілістер түрлі машиналарда цилиндрлі берілістерге қарағанда көп сұранысқа ие. Буынтықты төмендеткіштердің артықшылықтары: компактті габариттер; қозғалмалы бөліктер санының шектеулілігі қызмет ету мен жөндеу кезінде шығынды азайтады; беріліс жүрісінің шулы еместігі; динамикалық жүктемеге тұрақтылығы. Бірақ кемшілігін де айтып өткен жөн: ПӘК-ті салыстырмалы төмен; үлкен жылу шығарылу және жылу беру үшін қосымша шараларды жүргізу қажеттілігі; тозу; жинақтама дәлдігіне арнайы талаптардың болуы.

Берілген жұмыста буынтықты берілістерде автоматтандырылған жобалауды пайдаланумен қоса температуралық өрістерді модельдеу мен есептеу мәселелері де қарастырылады.

Буынтықты берілістің жетегін жобалаған кезде, сапасының негізгі критерийлері мыналар болып табылады:

- 1) жылулық көрсеткіштері;
- 2) беріліс элементтерінің тозуға тұрақтылығы;
- 3) тістердің беріктігі.

Буынтықты жетектер қуатының көрсеткіштері жылулық есептеулерге негізделеді.

Оралма мен дөңгелектің бірігу аумағындағы жақпа материалының температурасы – берілістің жылулық қуатының факторы [1]. Жоғары температура кезінде бекітілу аумағында май қабатының ұзындығы жеткіліксіз болуы, сонымен қоса температураның күрт өзгеруі дөңгелектің бұзылуына алып келетін қоладан жасалған дөңгелектің құрылымына әсер етуі мүмкін.

Буынтықты төмендеткішті жобалаған кезде жобалаушы келесі мәселелерді шешіп алу керек:

- 1) төмендеткіш корпусын рационалды жобалау;
- 2) корпустың ішіндегі жақпа материалдың интенсивті қозғалысын қамтамасыз ету;
- 3) жылу берудің қосымша қондырғысының орналасуын есептеу (мысалы, буынтықты білікте желдеткіш орнату немесе сұйықпен тоңазыту).

Буынтықты төмендеткішті жылулық жобалау мәселесін аналитикалық қосымшалардың [1-3] негізінде немесе соңғы элементтер әдісі [4, 5] негізінде шешуге болады.

Буынтықты төмендеткішті жобалау кезінде маңызды мәселе корпус пен берілістің жылулық есебі болып табылады. Беріліс пен корпустан шығарылған жылуды қабылдаймыз

$$Q = \Delta T S k \text{ (Вт)}, \quad (1)$$

мұндағы  $\Delta T$  – корпус бетінің максимал температурасы мен қоршаған орта ауасы температурасының айырымы,  $K$ ;  $S$  - корпус бетінің ауданы,  $m^2$ ;  $k$  - жылуалмасу коэффициенті.

енті,  $Bm/(m^2 \cdot K)$ ;

$$\Delta T = \frac{T_M - T_A}{1,03 + 0,01\sqrt{0,1n_1}} - 1,5 \text{ (K)}, \quad (2)$$

мұндағы  $T_M$  – төмендеткіш майындағы максимал температура (K), өндіруші май паспортында көрсетеді;  $T_A$  – ауа атмосферасының температурасы (мысалы, 239 K);  $n_1$  – беріліс айналымының саны (айн/мин).

Корпустың сыртқы беті мына формуламен есептелуі мүмкін:

$$S = 9 \cdot 10^{-5} a^{K1} \text{ (м}^2\text{)}, \quad (3)$$

мұндағы  $K1 = 1,85$  – тоңазыту қабырғалары бар төмендеткіштер корпусы үшін,  $K1 = 1,8$  – тоңазыту қабырғалары жоқ корпустар үшін;  $a$  – осьаралық қашықтық, мм.

Автоматтандырылған жүйедегі төмендеткішті жобалаған кезде, элементтер берілістері мен корпус бетінің ауданы массалық және инерциялық сипаттамаларымен бірге автоматты түрде есептелуі мүмкін. Осылайша (3) формуланы есептеулерде автоматтандырылған жүйенің программалық макросы алмастыра алады.

Жылуалмасу коэффициентін келесі формуламен анықтаймыз:

$$k = 6,6 \cdot 10^{-3} \left( 1 + K2 \left( \frac{n_1}{60} \right)^{0,75} \right) K3 (Bm / (m^2 \cdot K)), \quad (4)$$

мұндағы  $K2 = 0,4$  – буынтықты білікке желдеткішті орнатқан кезде,  $K2 = 0,23$  – желдеткішті орнатпаған кезде;  $K3 = 0,8$  – оралмасы жоғары орналасқан буынтықты беріліс үшін,  $K3 = 1,0$  – оралмасы төмен орналасқан буынтықты беріліс үшін.

Төмендеткіш корпусын құраған кезде, буынтық дөңгелегінің диаметрі майға 30 % -ға дейін кіріп тұратындай болу керектігін есепке алу керек.

Энергия шығыны  $P_{II}$  буынтықты төмендеткіште келесі формуламен есептеледі:

$$P_{II} = P_{к\text{ipy}} - \eta P_{к\text{ipy}} (Bm), \quad (5)$$

мұндағы  $P_{к\text{ipy}}$  – кіріс қуаты,  $Bm$ ;  $\eta$  – буынтықты берілістің ПӘК-і (жұмыс процесі кезінде өзгеруі мүмкін).

Буынтықты төмендеткіштегі жылу шығарылудың мәні энергия шығынының мәнінен артық болуы керек:  $Q \geq P_{II}$ . Буынтықты беріліс түйісу аумағынан берілетін интенсивті қыздырылу талабында жұмыс істейді. Осыған байланысты оның құрылымдық элементтері термиялық жүктеменің әсерінде болады, соның салдарынан бетте орналасуға әсер ететін термосерпінді орын ауыстырулар болып тұрады.

Соңғы элементтердің әдісімен есептеген кезде, жылудың таралуы буынтықты төмендеткіш құрылымындағы қатты және аз қыздырылған элементтер арасындағы конвективті және сәулелік алмасатын материалдардың жылуөткізгіштігі негізінде болады.

Есептеу алгоритмі келесідей болады: жылу балансы теңдеуінің басында құрылымның әрбір элементі түйінінің температурасы есептеледі, содан кейін элементтің температуралық деформациясының (кернеу) есебі жүргізіледі.

Үшөлшемді біртұтас денедегі жылулық режимді сипаттайтын жылуөткізгіштің теңдігі (4):

$$K_{xx} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + K_{yy} \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + K_{zz} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + Q_m = 0, \quad (6)$$

мұндағы  $T$  - температура, К;  $K_{xx}, K_{yy}, K_{zz}$  - элементтердің  $x, y, z$  жергілікті координат осьтері бағытындағы анизотропты материалдың жылуөткізгіштік коэффициенті, Вт/(м·К);  $Q_m$  - егер жылу элементке берілетін болса, оң болып саналатын элемент ішіндегі жылу көзі, Вт/м<sup>2</sup>.

(6) теңдік үшін үш түрлі шекті талаптар бар:

- егер де температура немесе элемент беті бойынша температураның таралу заңы белгілі болатын болса, онда шектік талаптар келесідей жазылады:

$$T = T(S_1), \quad (7)$$

мұндағы  $T(S_1)$  элемент бетіндегі координат нүктесінің функциясындағы элемент аумағындағы температура;

- егер  $S_2$  элемент бетінде  $h(T - T_\infty)$  шамасымен сипатталатын конвективті жылуалмасу болатын болса немесе  $q$  жылу ағыны белгіленген болса, онда шектік шарт мынандай түрге ие:

$$K_{xx} \frac{\partial T}{\partial x} l_x + K_{yy} \frac{\partial T}{\partial y} l_y + K_{zz} \frac{\partial T}{\partial z} l_z + h(T - T_\infty) + q = 0, \quad (8)$$

мұндағы  $h$  - жылуалмасу коэффициенті, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $T$  - элемент (белгісіз) шегіндегі температура, град;  $T_\infty$  - қоршаған ортаның температурасы (әдетте 273 К);  $l_x, l_y, l_z$  - зерттелініп жатқан бетке бағыттаушы нормал векторының косинусы;  $q$  - элементке берілетін жылу ағыны, Вт/м<sup>2</sup>.

Жылу ағыны  $q$  мен жылудың конвективті шығыны  $h(T - T_\infty)$  элемент шегі бетінің бір бөлігінде бірге бола алмайтындығын айта кеткен жөн.

(6) теңдік (7) және (8) шектік шарттармен бірге үшөлшемді элементте жылудың таралуын сипаттайды.

Вариациялық көзқараспен қарағанда (7) және (8) шектік шарттарымен бірге (6) теңдікті шешу [3,4] функционал минимумын табумен пара-пар:

$$\chi = \int_{V_T} \frac{1}{2} \left[ K_{xx} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + K_{yy} \left( \frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 + K_{zz} \left( \frac{\partial T}{\partial z} \right)^2 - 2QT \right] dV + \int_{S_T} \left[ q_T T + \frac{1}{2} h_T (T - T_\infty)^2 \right] dS, \quad (9)$$

мұндағы  $V_T, S_T$  - элементтің жылуалмасу бетінің ауданы мен көлемі.

(9) функционалды минимизациялау процесі кейбір көптеген соңғы элементтердің түйінді мәні үшін [5] көрсетілген.

Жекелеген соңғы элементтер үшін жылуөткізгіштік матрица мынандай түрге ие:

$$[K_T^{(e)}] = \int_{V^{(e)}} [B^{(e)}]^T [D_T^{(e)}] [B^{(e)}] dV + \int_{S_2^{(e)}} h [N^{(e)}]^T [N^{(e)}] dS. \quad (10)$$

$e$ -нші соңғы элемент теңдігінің оң жақ бөлігі үшін бағана – вектор (элемент жүктемесінің векторы) мына өрнекпен анықталады:

$$\{f^{(e)}\} = - \int_{V^{(e)}} Q [N^{(e)}]^T dV + \int_{S_1^{(e)}} q [N^{(e)}]^T dS + \int_{S_2^{(e)}} h T_\infty [N^{(e)}]^T dS, \quad (11)$$

мұндағы  $[D_T^{(e)}]$  - элемент жылуөткізгіштігінің матрицасы:

$$[D_T^{(e)}] = \begin{bmatrix} \kappa_{xx}^{(e)} & 0 & 0 \\ 0 & \kappa_{yy}^{(e)} & 0 \\ 0 & 0 & \kappa_{zz}^{(e)} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Бекітілу аумағындағы температураның мәнін төмендеткіштегі май температурасының максимал мәніне тең деп қабылдаймыз.

Буынтықты беріліс элементтерінің түйісу байланыстарының жылуөткізгіштігі, жылуөткізгіштің жалпы коэффициентімен бірге температуралық байланыстар (стерженьдер) жүйесімен модельденеді. Егер де  $i$ -нші элемент бетінің температурасы  $j$ -нші элемент бетінің температурасына тең болмаса, түйісу арқылы  $Q_i$  және  $Q_j$  интенсивті жылу ағыны өтетін болып саналады:

$$Q_i = \frac{kS}{m}(T_i - T_j); \quad (13)$$

$$Q_j = \frac{kS}{m}(T_j - T_i), \quad (14)$$

мұндағы  $S$  – түйісу ауданы,  $m$ ;  $m$  – түйісу байланыстарын модельдейтін байланыстар (стерженьдер) саны.

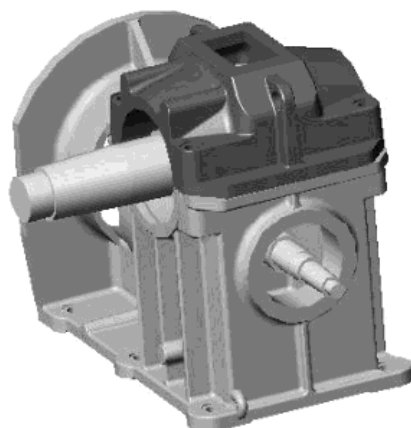
(13) және (14) ескере отырып,  $i$ -нші және  $j$ -нші стерженьдер түйіні үшін жылуөткізгіштіктің глобалды матрицасы келесідей өрнектеледі:

$$[K_T^{(e)}] = \begin{bmatrix} - & - & - \\ K_{i_1} - \left(K_{ij} + \frac{kS}{m}\right) - \left(K_{ji} - \frac{kS}{m}\right) & & \\ K_{j_1} - \left(K_{ji} - \frac{kS}{m}\right) - \left(K_{ij} + \frac{kS}{m}\right) & & \\ - & - & - \end{bmatrix} \quad (15)$$

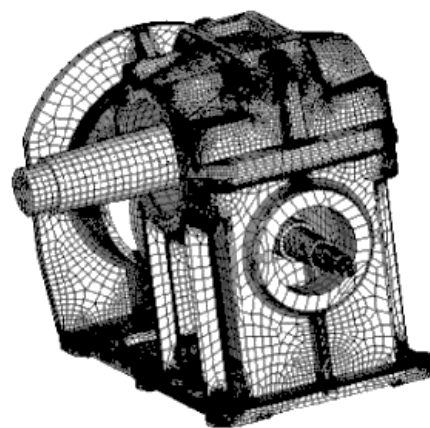
Сәйкесінше  $[K_T^{(e)}]$  матрицасы түйісу байланысын модельдейтін барлық түйіндер үшін өрнектеледі.

Жұмыс нәтижесінде:

1. Жылуалмасу мәселесін шешу үшін буынтығы көлбеу және тік орналасқан екі құрылымды буынтықты төмендеткіштің есептік көрсеткіш моделі жобаланды (1, 2-сурет). Берілген буынтықты төмендеткіш жедел саты құрылымдарында пайдаланылуы мүмкін.



а



б

1-сурет - Электрқозғалтқышы горизонталь орналасқан буынтықты төмендеткіш моделі:

а - визуальды модель; б – сандық анализге арналған модель

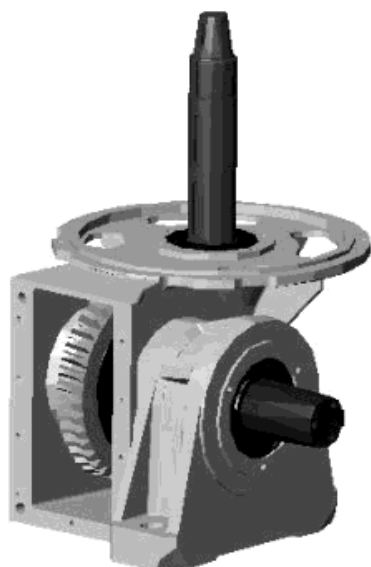
2. Ойлап табылған сандық алгоритмдер негізінде төмендеткіш корпус бетінің ауданы мен корпусың жұмыстық камерасының ауданы анықталуы мүмкін, ол өз кезегінде есептеу дәлдігін арттырады.

3. Сандық модельдеу нәтижесі желдеткішпен үрлеу кезінде желдеткішті буынтықтың білігіне де, сонымен қоса буынтық дөңгелегінің білігіне де орнату жылу беруді арттыратындығын көрсетті. Бұл жұмыста сандық нәтижелер емес, сапалық нәтижелер көрсетіледі, себебі механизм құрылымдарының моделі параметрлік және басқа факторларға, мысалы, материал қасиеттері мен габариттеріне тәуелді.

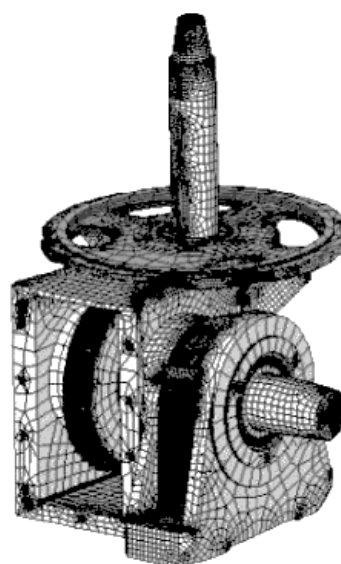
Қорытынды:

1. Буынтықты төмендеткіште жылу беруді арттыру үшін арнайы желдеткіш қолданылуы мүмкін.

2. Шекті элементтер әдісін модельдеу сыналы үлгілерді жасағанда нақты эксперимент жүргізеуге мүмкіндік береді.



а



б

2-сурет - Электрқозғалтқышы тік орналасқан буынтықты төмендеткіш моделі:  
а- визуальды модель; б – сандық анализге арналған модель

3. Төмендеткіш корпусының ойлап табылған құрылымы үшін жылу беру (1)-(3) формулалар нәтижесіне қарағанда 20 % артық (сандық модельдеу нәтижесі негізінде). Осылайша (1)-(3) формулалар сандық модельдеу құралдарын қолданбай есептеулер жүргізген кезде, жылуөткізгіштіктің жақсы қорын қамтамасыз етеді.

4. Сандық модельдеу нәтижесін арттыру үшін, буынтықты түйісу мен үштіректегі түйіндердегі дөңгелек аумағындағы үйкеліс күшін есепке ала отырып, көптеген мәселелерді шешу керек. Алайда көптеген соңғы элементтері бар бірнеше есептерді шешкен кезде, үлкен машиналық ресурстар қажет және алгоритмдеу мен бағдарламалық іске асырылуға көп уақыт кетеді.

#### Қолданылған әдебиеттер

1. Яновски Л. Проектирование механического оборудования лифтов: Моногр. – М.: Изд-во АСВ, 2005. – 3-е изд. – 336 с.
2. Жуков К.П. Проектирование деталей и узлов машин / К.П. Жуков, Ю.Е. Гуревич. – М.: Станкин, 2004. – 671 с.
3. Illes Dudas. The Theory and Practice of Worm Gear Drives / Illes Dudas. – London: Penton Press, 2000. – 337 p.
4. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 541 с.
5. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. – Пер. с англ. – М.: Мир, 1979. – 392 с.

Получено 20.01.2016

УДК 621.315.1

**Н.К. Ердыбаева, А.А. Кунапьянова**

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск

#### ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ НА СРОК СЛУЖБЫ СТЕКЛЯННЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

Высоковольтная изоляция линий электропередач с ростом индустриализации настолько сильно подвергается воздействию возрастающего уровня промышленных загрязнений, что, при определенных погодных условиях, имеют место случаи нарушения электрической изоляции. В настоящее время, согласно условиям климата нашей страны, широко используются стеклянные изоляторы. Одной из главных причин, приводящих к частым аварийным ситуациям линий электропередач, является неравномерное распределение напряжения вдоль поверхности изолятора, вследствие загрязнения его поверхности в процессе эксплуатации. Загрязнения снижают электрическую прочность и увеличивают проявление неоднородности структуры изоляции, в некоторых случаях вызывают поверхностное перекрытие, тем самым нарушая нормальное электроснабжение. Эти факты могут влиять на понижение срока службы изоляторов, что приводит к экономическим ущербам, так как увеличится число аварий, число выездов на место аварий, интервал времени промывки изоляторов от слоев загрязнения и так далее.

При эксплуатации поверхность диэлектрических материалов становится неоднород-

ной за счет пыли, оксидов и дыма. Такую неоднородность во многих случаях путают с дефектом. Но такая неоднородность не является дефектом, так как при наличии дефекта изолирующая деталь стеклянного изолятора рассыпается на мелкие части, а остаток стеклянного изолятора сохраняет несущую способность не менее 75 % номинальной электромеханической прочности изолятора. Таким образом, дефектный изолятор в гирлянде может быть легко обнаружен при осмотре линии с земли или с вертолета. За счет этого существенно снижаются эксплуатационные расходы по проверке качества изоляторов [1]. Это является причиной частого использования стеклянного изолятора по сравнению с фарфоровыми или полимерными.

Оседание пыли на поверхность изолятора, взаимодействие влаги, тумана, дыма, росы и других природных явлений могут стать причиной сокращения срока службы изоляторов, что, в свою очередь, экономически нецелесообразно. С целью уточнения этой теории нами проведено исследование нескольких образцов стеклянных изоляторов марки ПС-210Б с разных подстанций Восточно-Казахстанской области. Исследования проводились с использованием экспериментального оборудования лаборатории инженерного профиля «ИРГЕТАС». В результате исследования выявлено несколько факторов, влияющих на увеличение значения поверхностного тока утечки диэлектрика, которое приводит к перекрытию изолятора.

Измерение проводилось на шести мокрых изоляторах одной марки (ПС-210Б) при температуре окружающей среды  $+26,3^{\circ}$  и влажности 80 % в лаборатории испытания и диагностики компании ОАО «КЕГОС». Фиксировали данные тока утечки при различных напряжениях (рис. 1).

Как показывают многочисленные измерения, частичные разряды в местах наибольшей плотности тока появляются при токах утечки порядка 5-10 мА и характеризуются большим числом коротких (1-3 см) сине-фиолетовых стримеров [2].

На рис. 1 показан предел значения тока утечки, который достигает до 10 мА. Результаты эксперимента показали, что при мокрых изоляторах пробивное напряжение изоляторов под номерами 2, 3, 4 и 6 составило 30 кВ, а изолятор под номером 5 пробился при 20 кВ, но изолятор под номером 1 выдержал 30 кВ со значением тока утечки 7,6 мА.

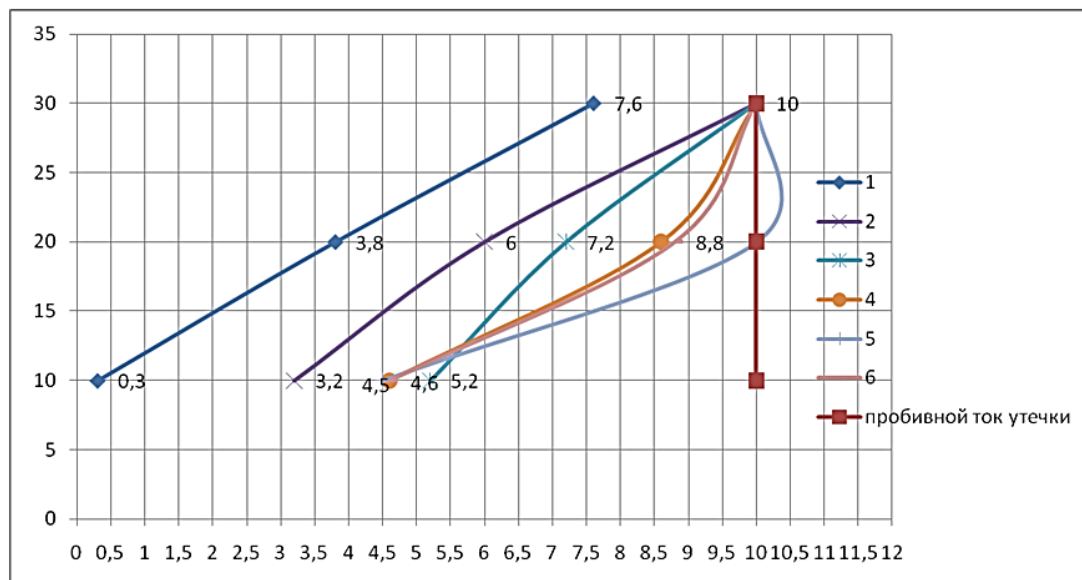


Рисунок 1 – Зависимость пробивного напряжения от тока утечки стеклянных изоляторов марки ПС-210Б для мокрых изоляторов

Несмотря на то, что изоляторы одной марки и с одной линии электропередач, электрические характеристики отличаются друг от друга. Что говорит о неравномерности поверхности диэлектрика за счет осевшей пыли и других загрязняющих веществ атмосферы.

Следующий эксперимент был направлен на выявление причин неоднородности поверхности стекла, которые влияют на электрические характеристики изолятора данной марки. Для определения состава примесей на поверхности стеклянного изолятора выполнены экспериментальные исследования:

1. Исследования элементного состава поверхностного слоя стеклянного изолятора после эксплуатации были проведены на растровом электронном микроскопе JSM-6390LV фирмы Jeol (Япония) в лаборатории инженерного профиля «IPGETAC», ВКГТУ им. Д. Серикбаева. Приставка LV означает, что микроскоп позволяет исследовать образцы при низком вакууме [3].

2. Были подготовлены образцы стеклянного изолятора марки ПС210Б размером  $10 \times 10 \times 10$  мм. На поверхности образца визуально наблюдалась тонкая темная пленка толщиной 30-100 мкм. При исследовании в РЭМ с энергодисперсионным анализом было обнаружено, что в состав этой пленки входит достаточно большое количество Zn (до 2,5 %), но в состав стекла изолятора цинк не входит [4]. Следовательно, изолятор эксплуатировался в воздушной среде, где содержалось большое количество цинка. Слой, содержащий цинк, обладает повышенной проводимостью и, следовательно, произошел пробой изолятора по поверхности.

На рис. 2 приведены результаты картирования области образца размером  $80 \times 60$  мкм. Слева приведена микрофотография этой области и обведена область картирования. Справа приведен спектр всех элементов, имеющихся в образце. Внизу в таблице приведены концентрации имеющихся элементов в атомных %. Видно, что в основном в образце присутствуют кислород и кремний (состав стекла  $\text{SiO}_2$ ). Присутствие в образце таких эле-



ментов, как сера, железо и цинк, можно объяснить только тем, что они попали на поверхность образца из атмосферы.

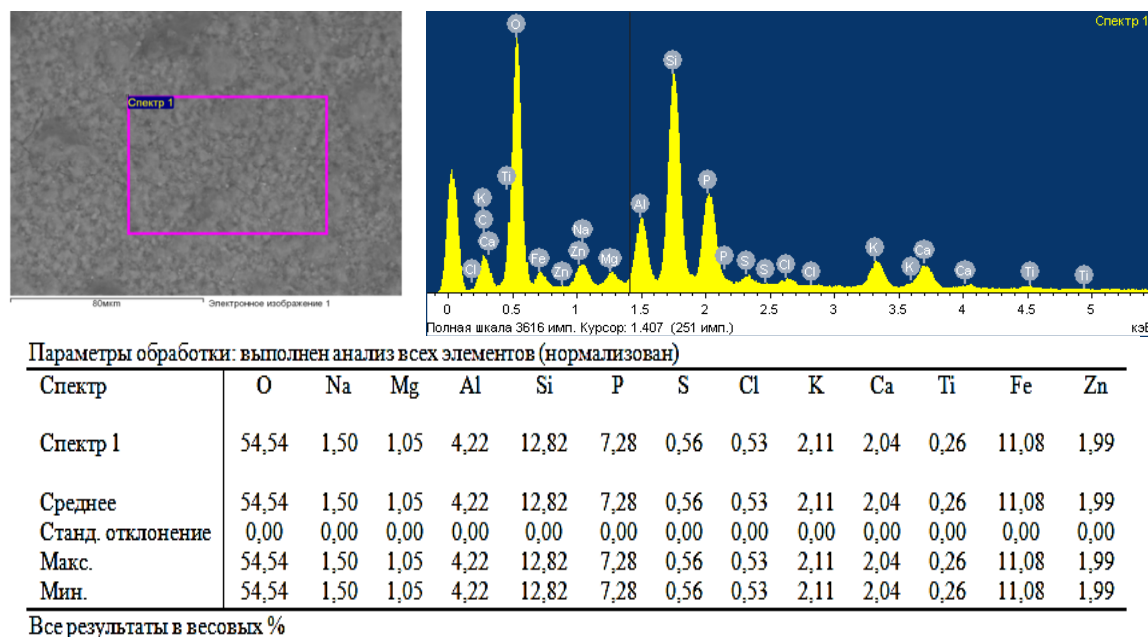
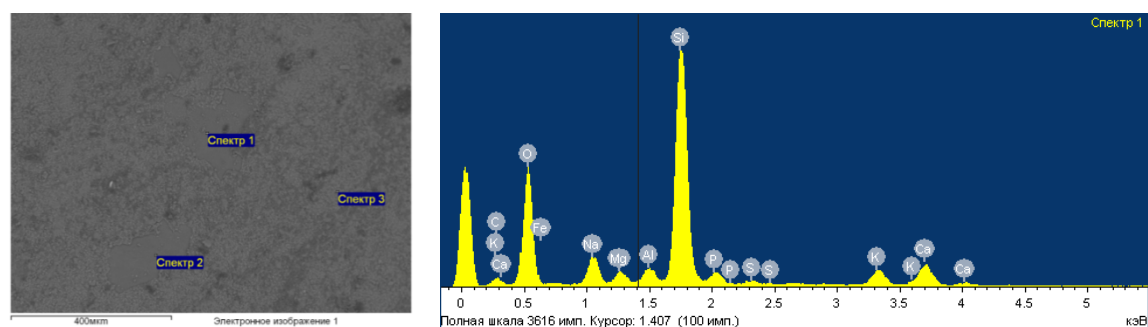


Рисунок 2 - Результаты картирования области образца

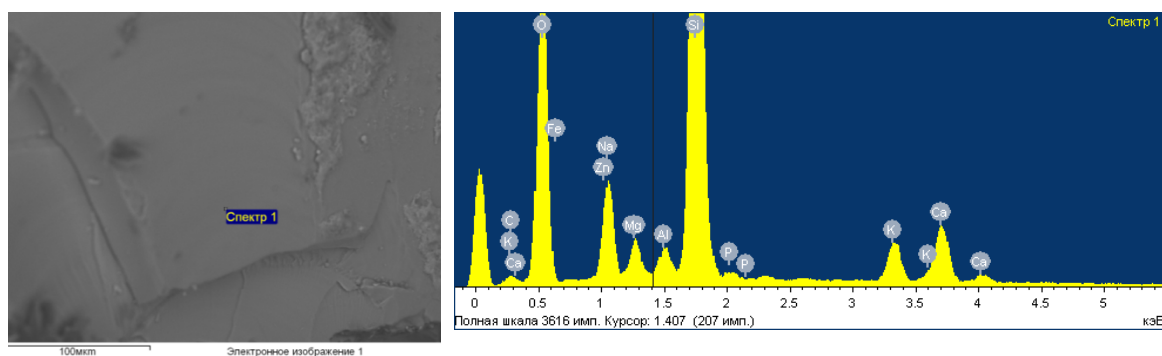
На рис. 3, справа, приведена микрофотография области образца (внизу, масштаб 400 мкм). Видно, что поверхность покрыта пятнами размером 30-50 мкм. Сделаны анализы состава поверхности в трех точках (спектр 1, 2, 3). Справа приведен спектр в точке 1, а внизу приведена таблица содержания элементов. Видно, что в светлых областях (1 и 2) наблюдается состав, близкий к составу чистого стекла, а в темной области (3) наблюдается повышенное содержание таких элементов, как P, S, Cl, Ti, Fe, Zn. Таким образом, можно говорить в какой атмосфере работал изолятор.



Спектр	O	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Zn	Итого
Спектр 1	53,94	5,39	1,68	1,69	26,27	1,92	0,37		2,40	3,67		2,66		100,00
Спектр 2	52,22	4,64	1,24	2,23	24,63	3,37			3,15	3,77		4,76		100,00
Спектр 3	50,37	2,00	0,86	4,32	13,00	7,71	0,61	0,59	2,33	2,15	0,36	13,20	2,50	100,00
Макс.	53,94	5,39	1,68	4,32	26,27	7,71	0,61	0,59	3,15	3,77	0,36	13,20	2,50	
Мин.	50,37	2,00	0,86	1,69	13,00	1,92	0,37	0,59	2,33	2,15	0,36	2,66	2,50	

Рисунок 3 - Результаты картирования области образца

На рис. 4 приведены спектры скола стекла до загрязнения выбросами от промышленности.



Спектр	O	Na	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Fe	Zn	Итого
Спектр 1	55,00	6,68	1,90	1,13	28,09	0,45	2,41	3,68	0,48	0,17	100,00
Среднее	55,00	6,68	1,90	1,13	28,09	0,45	2,41	3,68	0,48	0,17	100,00
Станд. отклонение	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Макс.	55,00	6,68	1,90	1,13	28,09	0,45	2,41	3,68	0,48	0,17	
Мин.	55,00	6,68	1,90	1,13	28,09	0,45	2,41	3,68	0,48	0,17	

Рисунок 4 - Спектры скола стекла

Наблюдалось также, что некоторые элементы, такие, как натрий, магний, кремний, калий и кальций, по процентным соотношениям уменьшаются на поверхности использованного изолятора, вероятнее всего они смываются каплями дождя или при утренней росе, влаге.

На поверхности использованного стеклянного изолятора, кроме Zn, имеются следующие элементы: Fe, Ti, S, Cl. Эти элементы обнаружены в составе оседавшей пыли на поверхности изоляторов. Большая часть этих элементов является носителем свободных электронов. По теории, включение металлических элементов в состав поверхности диэлектрика также влияет на значение тока утечки, т.е. на его увеличение.

При выборе и эксплуатации изоляторов учитывается и загрязненность атмосферы. Что учтено в «ЕЗ Электротехнические материалы и изоляторы» Госстандарта Республики Казахстан. Настоящий стандарт распространяется на линейные подвесные стержневые изоляторы, предназначенные для изоляции и крепления проводов воздушных линий электропередач и в распределительных устройствах электростанций и подстанций переменного тока напряжением свыше 1 000 В, частотой - до 100 Гц при температуре окружающего воздуха от минус 60 °С до плюс 50 °С, расположенных на высоте до 3 500 м над уровнем моря в районах с I-VII степенью загрязненности атмосферы [5]. Степени загрязнения атмосферы представлены в таблице.

*Классификация атмосферы по степени загрязнения [5]*

Тип атмосферы	Содержание коррозионно-активных веществ	
	Диоксид серы, мг/ м <sup>3</sup>	Хлориды, мг/кВ.м·сут.
I. Условно-чистая	Не более 0,025	Менее 0,3
II. Промышленная	0,025 - 0,12	Менее 0,3
III. Морская	Не более 0,025	30-300
IV. Приморско-промышленная	0,025 - 0,12	0,3-30

Требования настоящего стандарта являются обязательными.

Диоксид серы и хлорид являются коррозионно-активными веществами для всех типов изолятора.

На рис. 5 показана разница между установленным нормативом и фактическими условиями работы изоляторов в результате анализа состояния атмосферы города Усть-Каменогорска с учетом данных Государственного учреждения «Управление природных ресурсов и регулирования природопользования Восточно-Казахстанской области».

По данным справочника [6] исследуемый нами изолятор изготавливается для загрязненной атмосферы I, II степени, а по данным города Усть-Каменогорска диоксид серы превышает указанные границы 0,12 мг/куб.м, то есть срок службы изоляторов уменьшается за счет увеличения частоты разряда по поверхности изоляторов.

Электропроводность диэлектриков зависит от концентрации свободных носителей заряда, температуры и влажности среды. Примеси являются дополнительными источниками ионов и увеличивают электропроводность [7]. При наличии влаги может происходить частичная диссоциация молекул диэлектрика и примесей, что приводит к возрастанию электропроводности [8].

Среднеклиматическая статистика округа ВКО, в том числе города Усть-Каменогорска, представлена на рис. 6. Среднемесячная относительная влажность воздуха в течение года колеблется от 57 до 83 %. Максимальные ее значения наблюдаются в холодный период года, а минимальные – в мае.

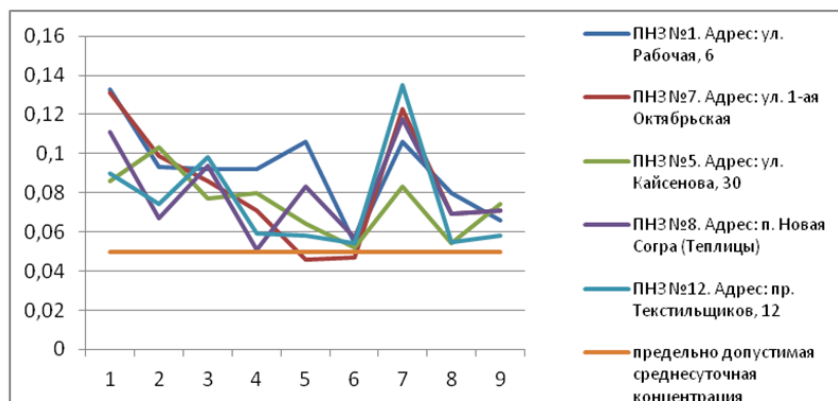


Рисунок 5 – Сравнительное распределение диоксида серы (сернистый ангидрид), (концентрация, мг/м³) [5]

По статистике климат города Усть-Каменогорска резко континентальный. Температурный режим характеризуется большими суточными и межсезонными колебаниями температуры. Целый год влажность умеренно сохраняется, то есть, если рассматривать по данной исследуемой работе, изоляторы круглый год находятся под влиянием влажности.

С точки зрения возможности возникновения перекрытий наиболее опасен тот период, когда влажность воздуха более 80 %. В силу отмеченного фактора легко прослеживается сезонная и временная по суткам зависимость числа повреждений из-за загрязнения изоляции [5].

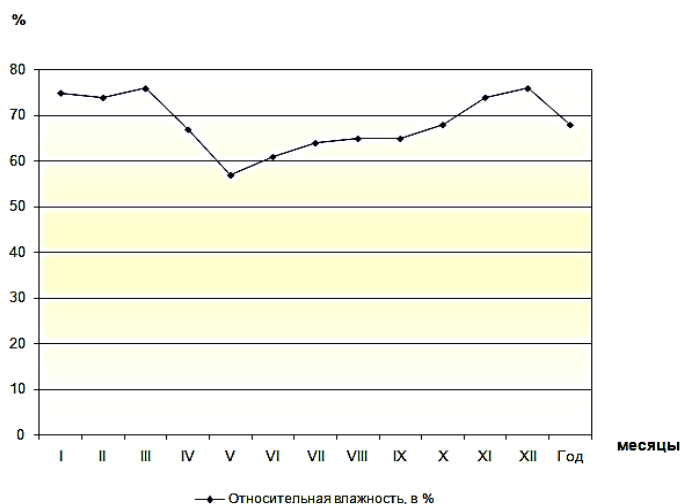


Рисунок 6 – Статистика влажности воздуха по Усть-Каменогорску [5]

По статистике базы ВКО изоляторы линии электропередач для данной области по условиям межгосударственного стандарта эксплуатируются в тяжелых условиях; структура поверхности стекла искажается, вызывая неоднородность поверхности за счет влияния влаги и инородных атмосферных элементов, которые относятся к выбросам крупных промышленных центров Усть-Каменогорска.

За счет стабильной влажности атмосферы ВКО у поверхности стеклянного изолятора увеличивается пропускная способность, которая зависит от плотности уровня загрязне-

ния, что приводит к неравномерному распределению напряжения по поверхности.

Таким образом, в результате исследований установлено, что на уменьшение срока службы изоляторов оказывают влияние следующие факторы:

1. Присутствие металлических элементов на поверхности стеклянного изолятора, наличие загрязненности атмосферы.
2. Влияние на поверхность коррозионно-активного вещества, такого, как диоксид серы.
3. Влияние на поверхностную проводимость влаги атмосферы.

#### Список литературы

1. Руцкий В.М. Анализ влияния некоторых промышленных источников загрязнения атмосферы на работу наружной высоковольтной изоляции / В.М. Руцкий, Б.А. Анфилофьев // Вестник Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности. – 1999. – № 4(16). – Самара, 1999. – С. 17.
2. Кравченко В.А. Проектирование и эксплуатация изоляции электроустановок в условиях загрязненной атмосферы / В.А. Кравченко, А.М. Ментюкова, В.Н. Яковлев. – Ташкент: ФАН, 1993. – 203 с.
3. Гоулдстейн Дж. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ / Дж. Гоулдстейн, Д. Ньюбери, П. Эглин. – М.: Мир, 1984. – Т. 1. – 301 с.
4. Петрова Л.Г. Электротехнические материалы: Учеб. пособие / Л.Г. Петрова, М.А. Потапов, О.В. Чудина. – М.: МАДИ (ГТУ), 2008. – 198 с.
5. Руководящий документ, руководство по контролю загрязнения атмосферы РД 52.04.186-89. – Введ. 01.07.1991.
6. Межгосударственный стандарт «Изоляторы линейные подвесные тарельчатые» ОКСТУ 34 9351, 34 9381. – Введ. 01.01.1996.
7. Пасынков В.В. Материалы электронной техники: Учеб. / В.В. Пасынков, В.С. Сорокин. – СПб.: Лань, 2003. – 5-е изд. – 368 с.
8. Петрова Л.Г. Электротехнические материалы: Учеб. пособие. / Л.Г. Петрова, М.А. Потапов, О.В. Чудина. – М.: МАДИ (ГТУ), 2008. – 198 с.

Получено 29.01.2016

---

УДК 621.337.1

**А.Т. Жапарова, А.И. Квасов, А.Е. Бакланов**

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск

#### РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОГО УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕЕЙ

Управление работой солнечной батареи получило широкое распространение, но управление и контроль электрической схемой в настоящее время не рассмотрены [1-2]. В данной статье мы предлагаем рассмотреть комплекс управления системой электроснабжения.

Систему управления (СУ) системой электроснабжения автономного объекта с использованием smart технологии мы назвали комплексом управления системой электроснабжения.

Комплекс управления системой электроснабжения (КУСЭС) включает в себя: резервированные ключи солнечной батареи  $K_1$  и  $K_2$ , ключи коммутации нагрузки ККН1 и ККН2, резервированную контроллерную СУ, щит (модуль) управления ключами солнечной батареи ЩУКСБ 6, устройство управления ключами коммутации нагрузки УУККН 7, датчики токов солнечной батареи 1 и токов аккумуляторной батареи 2, напряжений аккумуляторной батареи, блок-измеритель 4 (рис. 1) и резервированный источник питания

РИП, содержащий преобразователи напряжения и схему включения аварийного режима (рис. 1).

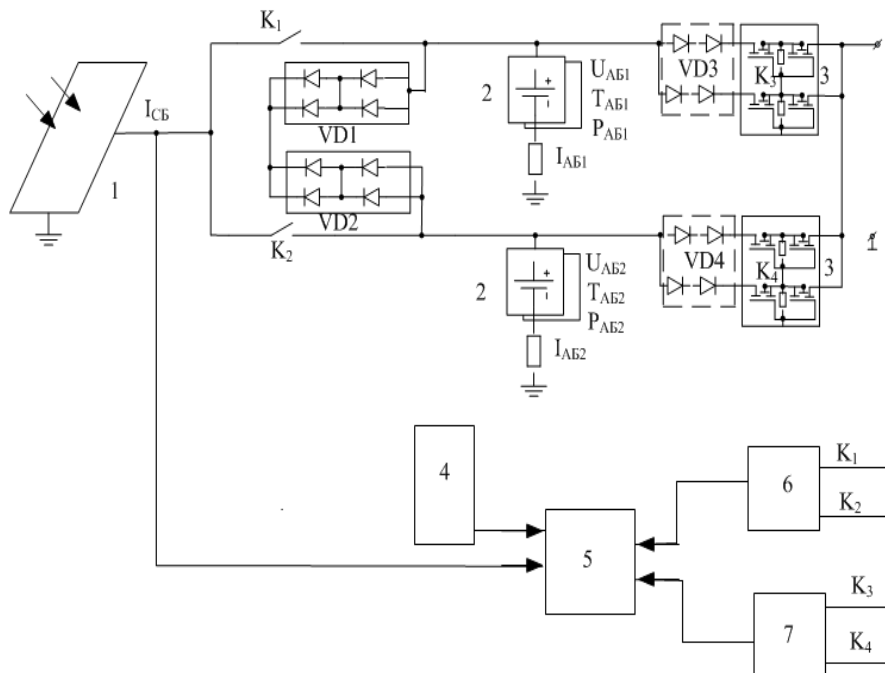


Рисунок 1 - Структура системы электроснабжения с солнечной батареей: 1 - солнечная батарея; 2 - аккумуляторные батареи АБ1 и АБ2; 3 - ключи коммутации нагрузки ККН1 и ККН2; 4 - блок-измеритель; 5 - система управления; 6 - щит управления ключами солнечной батареи ЩУКСБ, 7 - устройство управления ключами коммутации нагрузки УУККН

СУ 5 осуществляет управление силовыми ключами с помощью драйвера, расположенными в ЩУКСБ 6 и УУККН 7. Коммутация ключей  $K_1$  и  $K_2$  осуществляется таким образом, что солнечная батарея может быть одновременно подключена только на АБ1 2 или АБ2 2. В свою очередь ККН1 3 и ККН2 3 коммутируют шины АБ1 и АБ2 на выходную шину так, что в нормальном режиме одна из АБ обязательно подключена к нагрузке, а в аварийном режиме обе отключены. Сигнал аварийного режима формируется при снижении напряжения АБ до минимального значения и поступает в СУ, которая до момента снятия аварийного сигнала изменяет алгоритм управления ключами  $K_1$  и  $K_2$ . Резервированный источник питания РИП подключен к солнечной батарее и через развязывающие диоды запитывает узлы КУСЭС.

В нормальном режиме работы принцип действия системы электроснабжения основан на поддержании достаточного уровня мощности на шинах аккумуляторов путем коммутации СБ. Управление ключами организовано по принципу подчиненного регулирования напряжения АБ, структурная схема которого показано на рис. 2.

Главный контур регулирования напряжения на АБ. Исходя из уровня напряжения АБ, регулятор  $I_y (U_{AB})$  вырабатывает сигнал  $I_y$ , который является током – задатчиком для подчиненного контура регулирования. Регулятор  $I_y (U_{AB})$  стремится поддерживать напряжение АБ в диапазоне заданных значений  $U_{мин} < U_{AB} < U_{макс}$ . Когда  $U_{AB}$  достигает максимального значения  $U_{макс}$ , сигнал  $I_y$  устанавливается в нуль, и этот режим называют - под-

держание заряда АБ. При снижении  $U_{AB}$  до значения  $U_{мин}$  сигнал  $I_y$  устанавливается в значение, количественно равным максимально допустимому зарядному току АБ, и его называют заряд АБ. В процессе СЭС возмущение в виде нагрузки  $I_H$  или параметров ВАХ СБ ( $I_{кз}$ ,  $U_{хх}$ ) приводит к изменению тока АБ на величину  $\Delta I$  относительно тока установки  $I_y$ . Регулятор тока стремится подавить это отклонение так, чтобы оно не превышало максимально допустимой величины  $\Delta I_3$ , и выдает соответствующий сигнал  $m$  на коммутацию ключей  $K_1$  и  $K_2$ .

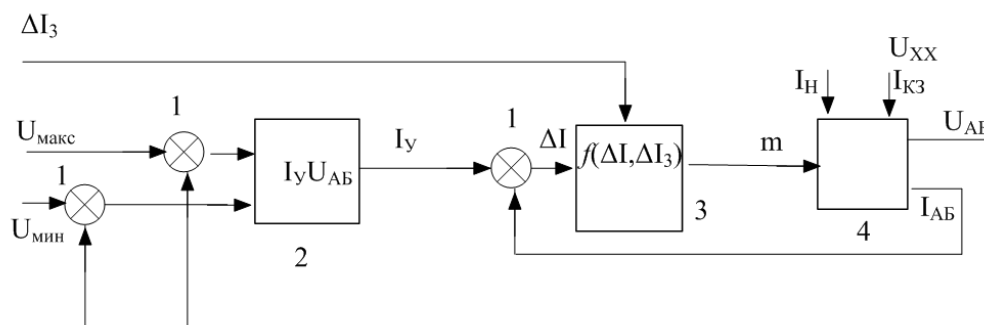


Рисунок 2 - Структурная схема подчиненного регулирования напряжения АБ:  
1 – задатчик; 2 - регулятор  $I_y$  ( $U_{AB}$ ); 3 - регулятор тока; 4 - система электроснабжения

Такая структура еще не использовалась в системе электроснабжения, поэтому мы ее исследовали с помощью имитационной модели. Структура такой модели представлена на рис. 3 и состоит: из блока-задатчика параметров СБ, имитирующего угол освещения солнечной батареи в процессе функционирования СЭС, имитирующего ВАХ СБ; КУСЭС, имитирующего работу ключей солнечной батареи КСБ, работу СЭС в нормальном и аварийном режимах R и работу СУ. В структуре имеются две аккумуляторные батареи АБ1 и АБ2, которые образуют общую шину нагрузкой  $R_H$ , изменяющейся по времени. Система управления имитационной моделью системы электроснабжения (СУ ИМ СЭС) предназначена для задания параметров названных блоков, монитор - для визуализации контролируемых параметров моделируемых процессов.

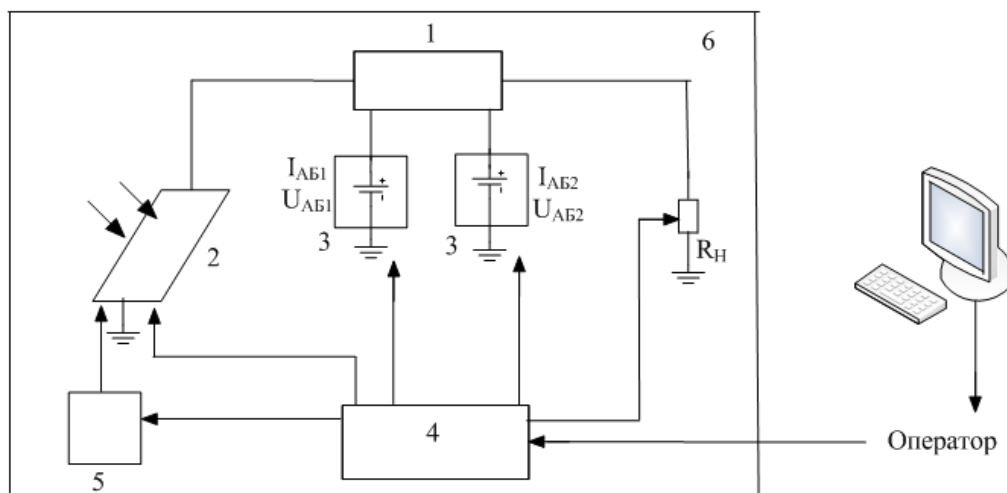


Рисунок 3 - Структура модели СЭС: 1 - КУСЭС включает в себя ключи солнечной батареи КСБ, работу в нормальном и аварийном режиме R и работу системы управления СУ; 2 - солнечная батарея СБ; 3 - аккумуляторные батареи АБ1 и АБ2; 4 - СУ ИМ СЭС; 5 - блок-задатчик параметров; 6 - ИМ СЭС

Чтобы структура модели СЭС позволяла управлять количеством ключей СБ предлагаем структуру модели системы электроснабжения с солнечной батареей, показанной на рис. 4. Данная СЭС (рис. 4) включает в себя; солнечную батарею 1, аккумуляторную батарею 2 и КУСЭС (рис. 1), [2].

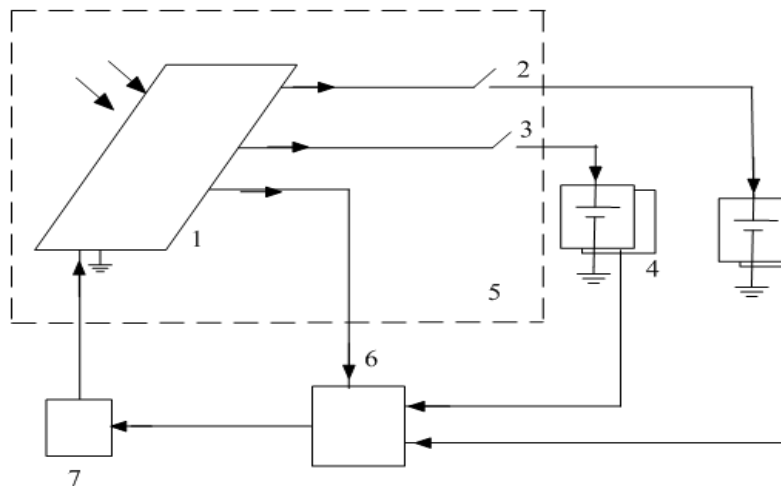


Рисунок 4 - Структура модели системы электроснабжения с солнечной батареей: 1 - солнечная батарея; 2, 3 - коммутационные ключи нагрузки  $K_1$  и  $K_2$ ; 4 - аккумуляторные батареи АБ1 и АБ2; 5 - регулируемый источник первичной энергии (РИПЭ); 6 - система управления системой электроснабжения; 7 - блок-задатчик параметров

Модель позволяет гибко управлять ключами солнечной батареи, предложена схема замещения СЭС (рис. 4), в которой регулируемый источник первичной энергии РИПЭ для шин АБ замещен управляемой СБ (рис. 5), которые имитируют ступенчатое увеличение или уменьшение токовой составляющей ВАХ солнечной батареи –  $i_{СБn}K(t)$   $i_{СБm}K(t)$  в соответствии с сигналами СУ ( $n$  и  $m$ ) и  $K(t)$  – сигналом коэффициента освещенности солнечной батареи.



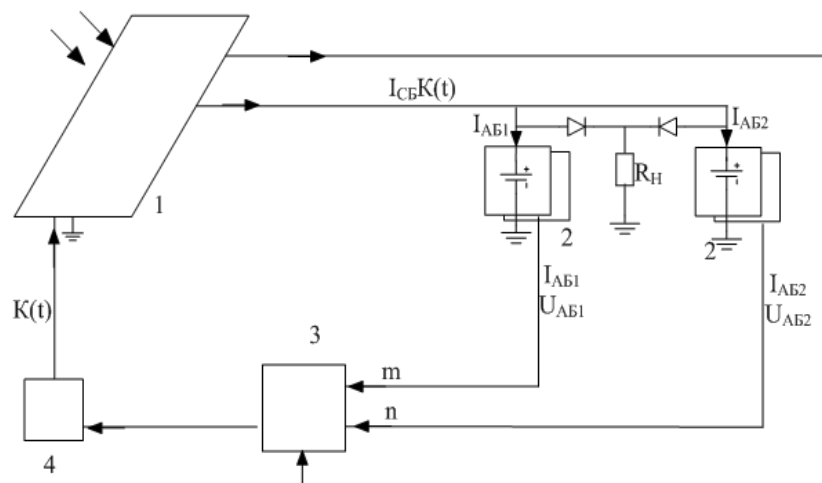


Рисунок 5 - Схема замещения структуры системы электроснабжения: 1 - солнечная батарея; 2 - аккумуляторные батареи АБ1 и АБ2; 3 – СУ; 4 – блок-задатчик параметров

Таким образом, задавая максимальные значения  $m$  и  $n$  и предельно настраивая вольт - амперную характеристику ВАХ солнечной батареи при полной освещенности, получаем математическое описание модели РИПЭ, которое возможно реализовать в пакете MatLab.

#### Список литературы

1. Квасов И.А. Исследование эффективности низковольтной светодиодной системы освещения / И.А. Квасов, Д.Н. Титов, А.Т. Жапарова // Материалы IX Междунар. конф. «Эффективное использование ресурсов и охрана окружающей среды – ключевые вопросы развития горно-металлургического комплекса» и XII Междунар. науч. конф. «Перспективные технологии, оборудование и аналитические системы для материаловедения и наноматериалов», 20-23 мая 2015. – Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2015.
2. Бакланов А.Е., Титов Д.Н., Gyorok G., Жапарова А.Т. Study of the effectiveness of switching-on light-emitting-diode illumination devices and the use of low voltage power system in lighting. Acta Polytechnica Hungarica Newsletter (61). – № 5. – С. 71-80. – 2015 (DOI: 10.12700/APH.12.5.2015.5.4).

Получено 29.01.2016

УДК 691.791

**Ю.И. Лопухов**

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск

#### ОБОЗНАЧЕНИЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕДУР И ТЕРМИНОЛОГИИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ БАКАЛАВРОВ И МАГИСТРОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ В СИСТЕМЕ ОБРАЗОВАНИЯ РК

До 1992 г. промышленность Казахстана, как и вся советская промышленность, в основном полностью обеспечивала собственные потребности в электросварочном оборудовании российского производства и некоторых бывших союзных республик СССР (Украина, Литва, Грузия, Армения). Лишь в отдельных отраслях (оборонный комплекс, кос-

мическая программа) работало сварочное оборудование иностранного производства. Объем технической информации, получаемой советскими специалистами из зарубежных источников, был очень ограничен и применение даже той минимальной информации, которую удавалось получить, было весьма проблематичным.

После получения независимости РК у специалистов появилась возможность воспользоваться всей массой технических и технологических знаний, накопленных за рубежом. В первую очередь, это проявилось в возможности приобретать оборудование иностранного производства и внедрять новые сварочные технологии.

За последнее десятилетие казахстанские специалисты стали более информированы. В ряде казахстанских вузов (Назарбаев университет, Казахстанско-Британский технический университет) подготовка ведется на уровне лучших зарубежных технических университетов (в том числе это касается и знания иностранных языков).

Получение технической информации на английском или любом другом языке перестало быть трудноразрешимой проблемой, а количество такой информации на русском и казахском языках постоянно растет, чему во многом способствует издание многими зарубежными производителями оборудования справочной и технической литературы на русском и казахском языках, в первую очередь, каталогов на собственную продукцию.

Однако в такой специфической области техники, как сварка, объем конструкторских и технологических разработок с её применением, а также объёмы производства сварных конструкций в РК непрерывно возрастают. Специалистам порой бывает очень трудно разобраться в нормативных сокращениях при работе с технической документацией на русском, казахском и английском языках. Кроме того, в сварке до сих пор нет жестко установленной системы классификации, в частности нет единой системы обозначений сварочных процедур (методов сварки). Поэтому большинство зарубежных производителей использует общепризнанные англоязычные аббревиатуры.

При разработке новой учебно-методической специальной литературы авторы часто используют устаревшую нормативную базу старых советских учебников, что усложняет изучение сварочных дисциплин студентами в соответствии с требованиями международных стандартов и увеличивает сроки адаптации выпускников на производстве при освоении современного сварочного оборудования.

В советской нормативно-технической документации (ГОСТах, ОСТах, РД и т.д.) вопрос сокращенных обозначений сварочных процедур был проработан весьма слабо. Нередки были случаи, когда один и тот же метод сварки в разных отраслях обозначался различными сокращениями.

Основной стандарт, устанавливающий классификацию методов сварки (ГОСТ 19521-74 «Сварка металлов. Классификация»), не давал никаких аббревиатур обозначений сварочных процедур. Методы ручной сварки в советских ГОСТах никак не обозначались.

Приведём наиболее употребительные сокращения:

*РДС* - ручная дуговая сварка (имеется в виду сварка покрытым штучным электродом);

*АДС* или *РАДС* - аргонодуговая сварка или ручная аргонодуговая сварка (сварка неплавящимся электродом в инертном газе, производимая вручную).

Наиболее полная и проработанная система сокращений приведена в двух стандартах на сварку в защитном газе: ГОСТ 14771-76 «Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры» и ГОСТ 23518-79 «Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры». В этих стандартах дается следующая система аббревиатур:

*ИН* - сварка в инертных газах неплавящимся электродом без присадочного металла;  
*ИНп* - сварка в инертных газах неплавящимся электродом с присадочным металлом;  
*ИП* - сварка в инертных газах и их смесях с углекислым газом и кислородом плавящимся электродом;

*УП* - сварка в углекислом газе и его смеси с кислородом плавящимся электродом.

Также весьма проработана система обозначений в ГОСТ 8713-79 «Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры». Метод сварки под флюсом обозначается буквой «Ф» с прибавлением степени автоматизации - автоматическая («А») или механизированная («М»). Таким образом, автоматическая сварка под флюсом плавящимся электродом обозначалась как «АФ» или «АДФ» с прибавлением буквы, обозначающей разновидность метода:

*АФ* - автоматическая на весу;

*АФф* - автоматическая на флюсовой подушке;

*АФм* - автоматическая на флюсомедной подкладке;

*АФо* - автоматическая на остающейся подкладке;

*АФп* - автоматическая на медном ползуне;

*АФш* - автоматическая с предварительным наложением подварочного шва;

*АФк* - автоматическая с предварительной подваркой корня шва;

*МФ* - механизированная на весу;

*МФо* - механизированная на остающейся подкладке;

*МФш* - механизированная с предварительным наложением подварочного шва;

*МФк* - механизированная с предварительной подваркой корня шва.

Однако уже в других стандартах сокращения, указывающие на методы сварки, совершенно иные. Так, ГОСТ 16098-80 «Соединения сварные из двухслойной коррозионно-стойкой стали. Основные типы, конструктивные элементы и размеры» обозначает ручную дуговую сварку просто буквой «Р», а сварку в защитных газах буквой «З». В ГОСТ 16037-80 «Соединения сварные стальных трубопроводов. Основные типы, конструктивные элементы и размеры» введены два метода сварки в защитных газах:

*ЗП* - дуговая сварка в защитном газе плавящимся электродом;

*ЗН* - дуговая сварка в защитном газе неплавящимся электродом.

При этом ручная дуговая сварка также обозначена буквой «Р», а автоматическая сварка под флюсом - буквой «Ф».

Электрошлаковая сварка обозначалась просто «ЭШ» или «Ш», иногда расшифровывался метод:

*ШЭ* - проволочным электродом;

*ШМ* - плавящимся мундштуком;

*ШП* - электродом, сечение которого соответствует по форме поперечному сечению сварочного пространства.

Даже ГОСТ 29297-92 «Сварка, высокотемпературная и низкотемпературная пайка, пайка-сварка металлов. Перечень и условные обозначения процессов», принятый как международный стандарт ИСО 4063-90, устанавливая наименования и кодификацию методов сварки, не дает сокращенных названий. Между тем знание таких сокращений существенно облегчает понимание иностранной переводной литературы, в частности каталогов сварочного оборудования.

В настоящее время наиболее распространенными и общепризнанными являются следующие сокращения в иностранной литературе:

*ММА* (Manual Metal Arc) или *ММАW* (Manual Metal Arc Welding) - ручная дуговая

сварка штучными покрытыми электродами.

Для сварки, которую мы привыкли называть «аргонодуговой сваркой», существует несколько различных обозначений:

*TIG* (Tungsten Inert Gas) - дуговая сварка неплавящимся электродом в среде инертного защитного газа; чаще всего используется для указания на ручную сварку;

*GTA* (Gas Tungsten Arc) - указывает на образование дуги при помощи вольфрамового электрода;

*WIG* (Wolfram Inert Gas) - обозначение метода TIG, используемое в немецкоязычной литературе

*GTAW* (Gas Tungsten Arc Welding) - обозначение, используемое для указания на применение метода TIG при автоматической (роботизированной) сварке;

*TIG-CW* (Cold Wire) - обозначение, используемое для указания на применение метода TIG с подачей нейтральной (холодной) присадочной проволоки;

*TIG-HW* (Hot Wire) - обозначение, используемое для указания на применение метода TIG с подачей электропроводящей (подогретой) присадочной проволоки;

*TIG-DC* (Direct Current) - обозначение, используемое для указания на применение метода TIG на постоянном токе;

*TIG-AC* (Alternating Current) - обозначение, используемое для указания на применение метода TIG на переменном токе.

Для «полуавтоматической сварки» также есть несколько различных обозначений:

*MIG* (Metal Inert Gas) или *MIGW* (Metal Inert Gas Welding) - дуговая сварка плавящимся металлическим электродом (проволокой) в среде инертного защитного газа с автоматической подачей присадочной проволоки;

*MAG* (Metal Active Gas) или *MAGW* (Metal Active Gas Welding) - дуговая сварка плавящимся металлическим электродом (проволокой) в среде активного защитного газа с автоматической подачей присадочной проволоки;

также:

*GMA* (Gas Metal Arc) - указывает на образование дуги из ионов металла присадочной проволоки;

*GMW* (Gas Metal Arc Welding) - обозначение, используемое для указания на применение метода MIG/MAG при автоматической (роботизированной) сварке;

*FCAW* (Flux Core Arc Welding) - дуговая сварка плавящейся порошковой проволокой с автоматической подачей присадочной проволоки; проволока самозащитная или для сварки в среде защитного газа.

Сварка под флюсом:

*SAW* (Submerged Arc Welding) или *SMAW* (Submerged Metal Arc Welding) - буквально - сварка «погруженной дугой»; автоматическая дуговая сварка металлическим электродом (проволокой) под слоем флюса;

*UP* (Under Pulver) - обозначение метода SAW, используемое в немецкоязычной литературе.

Плазменная сварка:

*PAW* (Plasma Arc Welding) - плазменная сварка (сварка сжатой дугой) или *PTAW* (Plasma Transferred Arc Welding) - плазменная сварка дугой прямого действия.

Также аббревиатуры плазменной сварки могут быть дополнены обозначениями, идентичными для сварки TIG:

*PAW-CW* (Cold Wire) - плазменная сварка с подачей нейтральной (холодной) присадочной проволоки;

*PAW-HW* (Hot Wire) - плазменная сварка с подачей электропроводящей (подогретой) присадочной проволоки;

*PAW-DC* (Direct Current) - плазменная сварка на постоянном токе;

*PAW-AC* (Alternating Current) - плазменная сварка на переменном токе.

Выше приведены обозначения только наиболее распространённых методов электрической дуговой сварки плавлением, встречающиеся в иностранной или переводной технической литературе.

В сварке, как и в любой другой области техники, терминология имеет весьма существенное значение. Терминологическая путаница часто приводит к непониманию и грубым ошибкам. Во избежание подобных ошибок приведены некоторые общепринятые термины, относящиеся к сварочному оборудованию:

*Сварочные движения*: а) подача присадочного материала в зону сварочной дуги; б) перемещение сварочной ванны по линии стыка.

*Ручная сварка* - вид сварки, при которой оба сварочных движения выполняются вручную.

*Полуавтоматическая сварка* - вид сварки, при которой одно из сварочных движений (чаще - подача присадочного материала в зону сварочной дуги) выполняется сварочной установкой.

*Автоматическая сварка* - вид сварки, при которой оба сварочных движения выполняются сварочной установкой.

*Сварочная установка* - сочетание сварочного источника питания и различных элементов для подвода тока, защитного газа, флюса и присадочного материала в зону дуги и перемещения сварочной ванны по линии стыка.

*Сварочный источник питания* - электрический или электромеханический прибор для создания сварочного тока.

*Сварочный трансформатор* - сварочный источник питания, преобразующий ток промышленной частоты в переменный сварочный ток той же частоты.

*Сварочный выпрямитель* - сварочный источник питания, преобразующий ток промышленной частоты в постоянный сварочный ток.

*Сварочный генератор* - сварочный источник питания, преобразующий энергию вращения от внешнего привода в постоянный сварочный ток.

*Сварочный агрегат* - сочетание сварочного генератора и привода вращения на базе двигателя внутреннего сгорания.

*Сварочный инвертор* - сварочный источник питания, преобразующий ток промышленной частоты в переменный сварочный ток высокой частоты.

*Установка для сварки неплавящимся электродом* - сварочный источник питания для сварки TIG; состоит из сварочного выпрямителя (трансформатора) или инвертора, блока формирования характеристики и осциллятора.

*Осциллятор* - высокочастотное устройство для возбуждения пилотной (дежурной) дуги при сварке TIG и плазменной сварке.

*Сварочный полуавтомат* - сварочная установка для сварки MIG/MAG (чаще всего) или TIG; состоит из источника питания (чаще - выпрямитель или инвертор), блока подачи электродной проволоки, сварочной горелки, кабелей и шлангов; при этом перемещение зоны сварки по стыку сварного соединения осуществляется вручную.

*Сварочный автомат* - сварочная установка для сварки MIG/MAG, TIG или SAW; состоит из источника питания, блока подачи электродной проволоки, сварочной головки, устройства перемещения сварочной головки, кабелей и шлангов; при этом перемещение

зоны сварки по стыку сварного соединения осуществляется автоматически.

*Электрододержатель* - инструмент для фиксации штучного электрода и подвода к нему тока. Сварочная горелка - инструмент для подачи тока и защитного газа в зону сварки при сварке TIG и MIG/MAG, при сварке MIG/MAG также служит для подачи в зону сварки сварочной проволоки. Блок подачи проволоки - часть сварочного полуавтомата или автомата, служащая для размещения сварочной проволоки, ее размотки и подачи в сварочную горелку.

*Механизм подачи проволоки* - элемент блока подачи проволоки, непосредственно осуществляющий размотку, правку и подачу сварочной проволоки в сварочную горелку; состоит из электродвигателя подачи и комплекта роликов (подающие ролики, правящие ролики).

*Сварочная головка* - сочетание сварочной горелки для какого-либо метода сварки и устройств и приспособлений, служащих для крепления, позиционирования и перемещения сварочной горелки по линии стыка.

Таким образом, знание общепризнанных сокращений в соответствии с международными стандартами и обозначения наиболее распространённых методов электрической дуговой сварки плавлением являются основополагающими при подготовке бакалавров и магистров технических специальностей и технических переводчиков.

#### Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО 4063-2010 ISO 063:2009. Сварка и родственные процессы. Перечень и условные обозначения процессов. - Введ. 2012.01.01. - М: Стандартиформ, 2011. - 21 с.
2. Райский В.Г. Международные обозначения сварочных процедур и сварочная терминология // [www.internhno.ru](http://www.internhno.ru).

Получено 29.01.2016

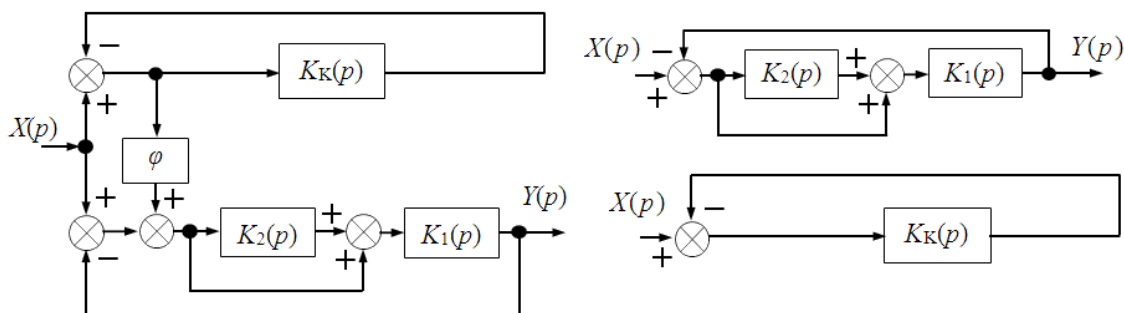
УДК 681.2 (075.8): 681.5(075.8): 006.91(075.8)

**А.П. Парамзин**

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск

#### УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ АСТАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В статье рассматривается линейная автоматическая объединённая система (рис. 1,а), содержащая исходную (рис. 1,б вверху) [1, 2] и корректирующую (рис. 1,б внизу) системы. Исходная и корректирующая системы имеют отрицательные обратные связи.



*a*

*б*

Рисунок 1 – Структурные схемы объединённой (*a*), исходной и корректирующей (*б*) систем

Передаточные функции блоков исходной системы имеют вид (1), а передаточные функции замкнутых корректирующей и объединённой систем имеют вид (2) и (3), соответственно, где  $p$  – оператор Лапласа:

$$K_1(p) = \frac{K_{10}}{(\tau_0 p + 1)(\tau_1 p + 1)}; \quad K_2(p) = \frac{K_{20}}{(\tau_2 p + 1)(\tau_3 p + 1)}, \quad (1)$$

$$W_{кз}(p) = \frac{K_k(p)}{1 + K_k(p)}, \quad (2)$$

$$W_{оз}(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{K_1(p) \cdot [K_2(p) + 1] \cdot [K_k(p) + 1 + \varphi]}{\{1 + K_1(p) \cdot [K_2(p) + 1]\} \cdot [K_k(p) + 1]}. \quad (3)$$

Во многих работах автора изложен алгоритм оптимального синтеза исходной системы [1, 2], принадлежащей классу статических. Сигнал ошибки корректирующей системы через звено связи  $\varphi$  передаётся в контур исходной системы. Работы [3-5] содержат решения, позволяющие повысить астатизм исходной системы и тем самым компенсировать отдельные составляющие собственной ошибки воспроизведения управляющего воздействия. Однако из теории автоматического управления известно, что увеличение порядка астатизма разомкнутой системы негативно влияет на условия её устойчивости при замыкании контура обратной связи.

Целью статьи является оценка влияния корректирующей системы на условия устойчивости объединённой системы в сравнении с условиями устойчивости исходной системы, достигаемыми в результате её оптимального синтеза.

Алгоритм оптимального синтеза исходной системы устанавливает требования к передаточным функциям [1, 2]:

$$K_1(p) = \frac{K_{10}}{(\tau_0 p + 1)^2}; \quad K_2(p) = \frac{K_{20}}{(\tau_0 p + 1)^2}, \quad (4)$$

где  $K_{i0}$  ( $i = 1, 2$ ) – статические коэффициенты передачи;  $\tau_i$  ( $i = 0, 1, 2, 3$ ) – постоянные времени, причём  $\tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_0$ .

Пусть передаточная функция разомкнутой корректирующей системы имеет вид:

$$K_k(p) = K_{k0}, \quad (5)$$

тогда астатизм первого порядка (компенсация статической ошибки) достигается в объединённой системе при условии [4]:

$$\varphi = \frac{1 + K_{k0}}{K_{10}(1 + K_{20})} \quad \text{и} \quad \text{при} \quad K_{k0} = K_{20} \quad \varphi = \frac{1}{K_{10}}. \quad (6)$$

Характеристическое уравнение передаточной функции (3) с учётом (4)-(6) примет вид:

$$\{(\tau_0 p + 1)^4 + K_{10}[K_{20} + (\tau_0 p + 1)^2]\} \cdot (K_{20} + 1) = 0. \quad (7)$$

Выполним переход в частотную область, подставив в (7) значение  $p = j\omega$  и выделив вещественную и мнимую части:

$$\omega^4 \tau_0^4 - [6 + K_{10}(K_{20} + 1)]\omega^2 \tau_0^2 + [1 + K_{10}(K_{20} + 1)^2] + j\omega \tau_0 [2(K_{10}K_{20} + K_{10} + 2) - 4\omega^2 \tau_0^2] = 0. \quad (8)$$

Решим поставленную задачу с помощью метода D-разбиения, определив границы устойчивости в области двух параметров  $K_{10}$  и  $K_{20}$ , то есть решив систему двух уравнений:

$$Re(K_{10}, K_{20}, \omega) = 0, \quad (9)$$

$$Im(K_{10}, K_{20}, \omega) = 0,$$

где  $Re$  – вещественная часть (8);  $Im$  – мнимая часть (8).

Из мнимой части (8) выделим  $\omega^2 \tau_0^2 = (K_{10}K_{20} + K_{10} + 2)/2$ , подставим в вещественную часть и получим:

$$Re = \frac{(K_{10}K_{20} + K_{10} + 2)^2}{4} - \frac{(K_{10}K_{20} + K_{10} + 6)(K_{10}K_{20} + K_{10} + 2)}{2} + 1 + K_{10}(K_{20} + 1)^2 = 0. \quad (10)$$

В итоге можно будет построить номограмму устойчивости  $K_{20} = f(K_{10})$  (такой подход был применён автором при разработке алгоритма оптимального синтеза исходной системы [1, 2]). Методика построения номограмм устойчивости с помощью метода D-разбиения весьма проста, если параметры  $K_{10}$  и  $K_{20}$  входят в уравнения (9) линейно. При другом условии, как это имеет место в данном случае, нужна компьютерная модель решения задачи. Структура алгоритма приведена на рис. 2.

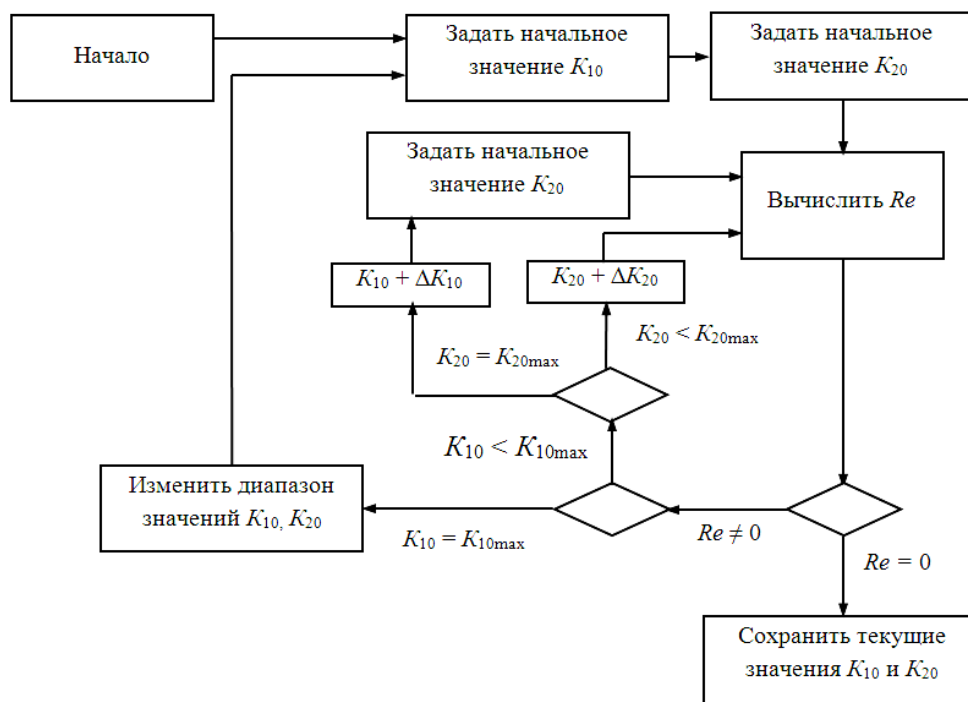


Рисунок 2 – Структура алгоритма для построения номограммы устойчивости

На рис. 3 приведены две номограммы устойчивости: пунктирная кривая – исходной



системы и сплошная кривая – объединённой системы.

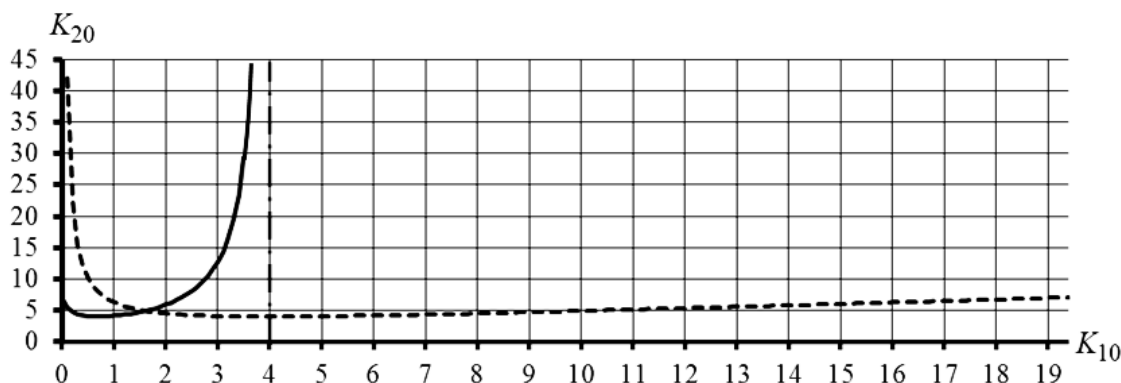


Рисунок 3 – Номограммы устойчивости исходной и объединённой систем

Ось ординат является асимптотой обеих номограмм, штрих-пунктирная прямая с абсциссой  $K_{10} = 4$  – асимптота правой ветви номограммы объединённой системы, прямая  $K_{20} = K_{10}/4 + 2$  – асимптота правой ветви номограммы исходной системы. Область, расположенная под номограммами, является областью устойчивости.

Оценим полученные результаты с помощью логарифмических амплитудных частотных характеристик разомкнутых исходной и объединённой систем. Передаточная функция разомкнутой исходной системы с учётом (4) имеет вид:

$$W_{\text{ир}}(p) = \frac{K_{10} \cdot [(\tau_0 p + 1)^2 + K_{20}]}{(\tau_0 p + 1)^4} = \frac{K_{10} \cdot (\tau_0^2 p^2 + 2\tau_0 p + 1 + K_{20})}{\tau_0^4 p^4 + 4\tau_0^3 p^3 + 6\tau_0^2 p^2 + 4\tau_0 p + 1}. \quad (11)$$

Перейдём в частотную область, заменив в (11)  $p$  на  $j\omega$ , и получим амплитудно-фазовую частотную характеристику:

$$W_{\text{ир}}(j\omega) = \frac{K_{10} \cdot (-\omega^2 \tau_0^2 + 1 + K_{20} + j2\omega \tau_0)}{(\omega^4 \tau_0^4 - 6\omega^2 \tau_0^2 + 1) + j4\omega \tau_0 (-\tau_0^2 \omega^2 + 1)}. \quad (12)$$

Передаточная функция разомкнутой объединённой системы с учётом (4)–(6) имеет вид:

$$\begin{aligned} W_{\text{оп}}(p) &= \frac{[(\tau_0 p + 1)^2 + K_{20}] \cdot [K_{10} K_{20} + K_{10} + 1]}{(1 + K_{20}) \cdot (\tau_0 p + 1)^4 - [K_{20} + (\tau_0 p + 1)^2]^2} = \\ &= \frac{(\tau_0^2 p^2 + 2\tau_0 p + 1 + K_{20}) \cdot (K_{10} K_{20} + K_{10} + 1)}{(1 + K_{20}) \tau_0^4 p^4 + 4(1 + K_{20}) \tau_0^3 p^3 + (5 + 6K_{20}) \tau_0^2 p^2 + (2 + 4K_{20}) \tau_0 p} \end{aligned} \quad (13)$$

и после замены  $p$  на  $j\omega$  получим амплитудно-фазовую частотную характеристику:

$$W_{\text{оп}}(j\omega) = \frac{(K_{10} K_{20} + K_{10} + 1) [-\omega^2 \tau_0^2 + (1 + K_{20})] + j\omega \tau_0 2(K_{10} K_{20} + K_{10} + 1)}{\tau_0^2 \omega^2 [(1 + K_{20}) \tau_0^2 \omega^2 - (5 + 6K_{20})] + j\tau_0 \omega_0 [-4(1 + K_{20}) \tau_0^2 \omega^2 + (2 + 4K_{20})]}. \quad (14)$$

Из (12) и (14) выделим модули  $|W_{\text{ир}}(j\omega)| = A_{\text{ир}}(\omega)$ ,  $|W_{\text{оп}}(j\omega)| = A_{\text{оп}}(\omega)$  и построим логарифмические амплитудные частотные характеристики при условии:  $K_{10} = 100$ ;  $K_{20} = 10$ ;  $f_0 = 1000$  Гц. Значения  $K_{10}$  и  $K_{20}$  принадлежат области устойчивости, а их соотношение задано в соответствии с рекомендациями разработанной авторами методики оптимального синтеза систем со структурой исходной системы [1] при условии обеспечения устойчиво-

сти с требуемыми запасами по модулю и фазе. Параметр  $f_0$  определяет верхнюю границу диапазона рабочих частот, при этом  $\tau_0 = 1/\omega_0 = 1/(2\pi f_0) \approx 0,00016$  с. Разумеется, значения перечисленных параметров могут быть иными. Обе логарифмические характеристики представлены на рис. 4, где пунктирная характеристика принадлежит исходной системе, сплошная – объединённой. В низкочастотной области (от 0 до 1000 Гц) наклон характеристики объединённой системы – 6 дБ/окт, что свидетельствует о наличии астатизма первого порядка, в то время как исходная система – статическая. В области средних и высоких частот (более 1000 Гц) характеристики обеих систем практически идентичны, что указывает на идентичность условий устойчивости.

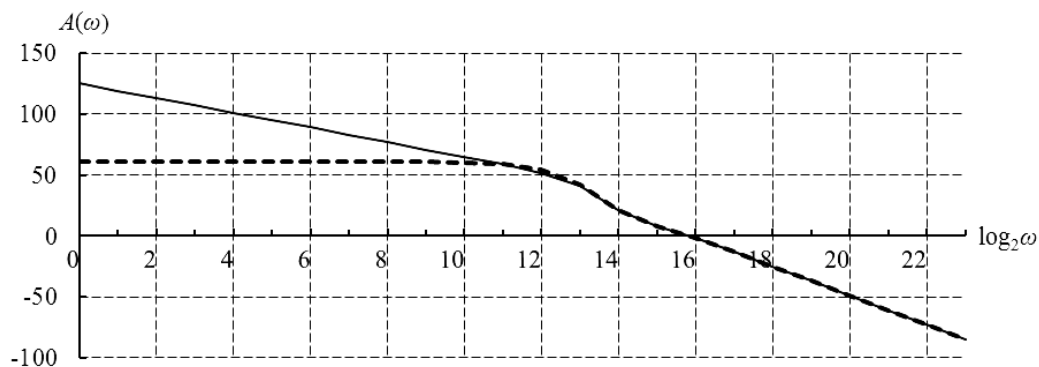


Рисунок 4 – Логарифмические амплитудные частотные характеристики  
исходной и объединённой систем

Таким образом, если взять за основу разработанную автором методику синтеза систем, аналогичных исходной системе, то можно рекомендовать следующее.

Предположим, что при проектировании исходной системы обнаруживается недостаток аппаратных ресурсов для обеспечения заданных показателей качества в статическом режиме. Действительно, величина статической ошибки обратно пропорциональна глубине обратной связи, то есть значению  $[(K_{20}+1)K_{10}]$ . Добавление ресурсов с целью увеличения глубины обратной связи, как правило, приводит к повышению порядка, что однозначно может негативно повлиять на условия устойчивости. Поэтому применение корректирующей системы позволит разрешить данное противоречие.

#### Список литературы

1. Парамзин А.П. Общая теория систем аддитивной коррекции по входу / А.П. Парамзин, В.М. Сергеев, В.И. Чуфистов // Материалы Респ. конф. «Структурные методы повышения точности, чувствительности и быстродействия измерительных приборов и систем». – Киев, 1980.
2. Парамзин А.П. Оптимизация частотных характеристик в замкнутых системах аддитивной коррекции по входу / А.П. Парамзин, В.М. Сергеев // Сб. науч. тр. «Проблемы научно-технического прогресса и экологии в строительстве и других отраслях экономики Казахстана». – Усть-Каменогорск: ВКТУ, 1998. – С. 142–154.
3. Парамзин А.П. Активная коррекция астатических систем // Вестник ВКГТУ. – 2014. – № 2. – Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2014. – С. 52–57.
4. Парамзин А.П. Компенсация ошибок по скорости и ускорению в астатических системах // Вестник ВКГТУ. – 2015. – № 1. – Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2015. – С. 54–57.
5. Парамзин А.П. Compensation errors high order in automatic systems with active correction // Материалы IX Междунар. конф. «Эффективное использование ресурсов и охрана окружающей среды – ключевые вопросы развития горно-металлургического комплекса» и XII Междунар. науч. конф. «Перспективные технологии, оборудование и аналитические системы для материаловедения и наноматериалов». – Усть-Каменогорск, 20–23 мая 2015 г. – Ч. 2. – С. 415–421.

Получено 20.01.2016

УДК 621.03

**А.Т. Туленов, Б.А. Омаров**

Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауезова, г. Шымкент

**К.К. Абишев**

Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, г. Астана

**А.Ж. Касенов**

Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, г. Павлодар

#### ВЫЯВЛЕНИЕ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ИЗНАШИВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ РАБОТЫ МАШИНЫ

В процессе работы машины показатели изнашивания деталей и сопряжений не сохраняют постоянных значений. Изменения износа деталей во времени в общем случае можно представить в виде модели, предложенной В.Ф. Лоренцом (рис. 1). В начальный период (называемый периодом приработки) наблюдается довольно быстрый износ деталей (участок I). Продолжительность этого периода обуславливается качеством поверхностей и режимом работы механизма и составляет обычно 1,5-2 % ресурса узла трения. После приработки наступает период установившегося режима изнашивания (участок II), определяющий долговечность сопряжений. Третий период – период катастрофического изнашивания (участок III) - характеризует предельное состояние механизма и ограничивает ресурс. Как видно из приведенных на рисунке графиков, процесс изнашивания оказывает прямое, определяющее влияние на возникновение отказов и неисправностей узлов трения машин. Изменение показателей надежности по времени идентично изменению показателей изнашивания. Более высокая крутизна кривых  $m = \varphi(\tau)$  и  $C = \varphi(\tau)$  на участке II объясняется тем, что с наработкой возникают отказы, вызванные, помимо износа, усталостным, коррозионным разрушением или пластическими деформациями.

Известно, что повышение температуры поверхностей трения вызывает изменение физико-механических свойств поверхностных слоев материала. Изменение структуры и свойств металлов в поверхностных слоях деталей происходит также вследствие наклепа, вызванного пластическими деформациями микрообъемов материала рабочей поверхности в процессе приработки. Интенсивное разрушение выступов, обладающих наименьшей прочностью, образование новых неровностей, отличных по форме и размером от исходных, а также изменение формы остальных, ранее существовавших неровностей в процессе приработки ведет к изменению микрогеометрии поверхности.

Экспериментально установлено, что в разных условиях и различных парах трения после приработки всегда устанавливается одинаковая, так называемая «равновесная» шероховатость, характерная для определенных материалов. Равновесная шероховатость воспроизводится в процессе изнашивания поверхностей и остается в среднем постоянной.

В процессе приработки при малой исходной шероховатости поверхностей ( $R_z = 0,5 \div 2$  мкм) высоты неровностей преимущественно увеличиваются вследствие молекулярного взаимодействия. В результате схватывания рабочих поверхностей деталей, возникающего под действием сил молекулярного притяжения, происходит разрушение материала, появляются новые неровности, и таким образом формируется поверхность, отличная от исход-

ной.

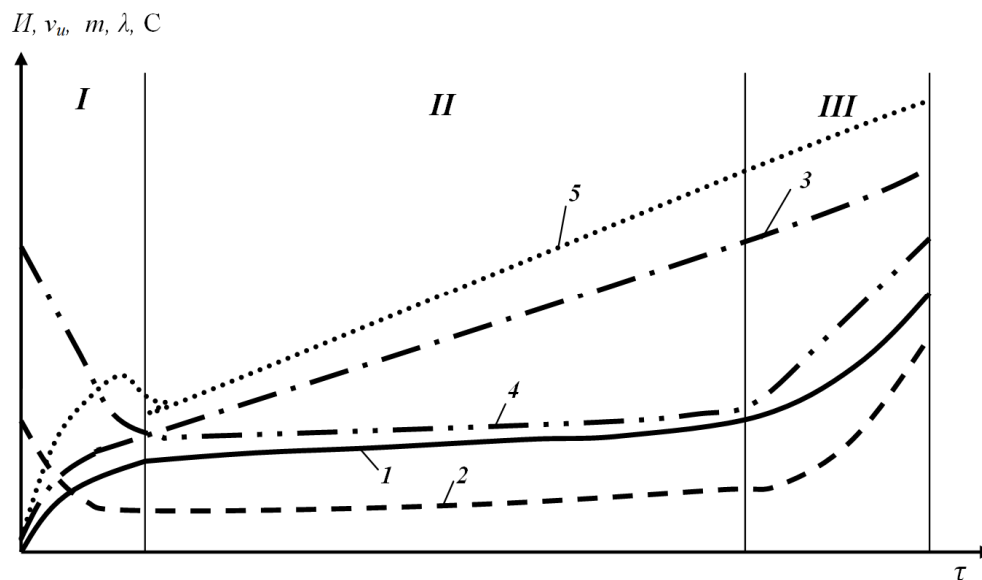


Рисунок 1 – Изменения параметров сопряжения в процессе работы:

1 – износа  $H$ ; 2 – скорости изнашивания  $v_u$ ; 3 – частоты отказов  $m$ ;  
4 – интенсивности отказов  $\lambda$ ; 5 – затрат на поддержание работоспособности  $C$

При правильном выборе соотношения твердостей деталей и режимов приработки довольно быстро наступает период так называемого нормального установившегося изнашивания (участок II). Следует отметить, что не все процессы имеют установившийся режим. В этой связи проверка наличия установившегося режима выполняется в следующем порядке.

Если в матрице перехода системы из состояния в состояние  $P_{ij}$  все элементы больше 0, то процесс, отвечающий исследуемой системе, имеет установившийся режим.

Если матрица вероятности перехода  $P_{ij}$  имеет хотя бы один 0, тогда для определения наличия установившегося режима необходимо, в первую очередь, составить характеристическое уравнение, затем вычислить определитель характеристического уравнения и найти его корни, и если при этом один корень характеристического уравнения равен единице, а остальные меньше единицы, то установившийся режим существует. В противном случае установившегося режима нет.

Допустим, задана матрица вероятностей перехода системы

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} 0,8 & 0,2 & 0 \\ 0,4 & 0,6 & 0 \\ 0,8 & 0 & 0,2 \end{bmatrix}.$$

Требуется определить наличие установившегося режима. Составляем характеристическое уравнение.

$$\begin{vmatrix} 0,8 - \lambda & 0,2 & 0 \\ 0,4 & 0,6 - \lambda & 0 \\ 0,8 & 0 & 0,2 - \lambda \end{vmatrix} = 0.$$

Вычисляем определитель характеристического уравнения, например, путем приписки строк справа и приравниваем его нулю.

$$\begin{pmatrix} 0,8 - \lambda & 0,2 & 0 & 0,8 - \lambda & 0,2 & 0 \\ 0,4 & 0,6 - \lambda & 0 & 0,4 & 0,6 - \lambda & 0 \\ 0,8 & 0 & 0,2 - \lambda & 0,8 & 0 & 0,2 - \lambda \end{pmatrix} = 0,$$

$$dt = (0,8 - \lambda)(0,6 - \lambda)(0,2 - \lambda) - (0,2 - \lambda)0,4 \cdot 0,2 = 0,$$

при этом корни характеристического уравнения составляют:

$$\lambda_1=0,2; \lambda_2=1; \lambda_3=0,3.$$

Таким образом, для заданных условий установившийся режим существует.

Этот период характеризуется небольшой, примерно постоянной, интенсивностью изнашивания и продолжительностью до тех пор, пока изменения размеров или формы деталей не повлияют на условия их работы или до наступления предела усталости материала.

Уместно отметить, что накопление изменений геометрических размеров и физико-механических свойств деталей ведет к ухудшению условий работы сопряжения. Основным фактором при этом является повышение динамических нагрузок вследствие увеличения зазоров в трущихся парах. В результате наступает период прогрессивного изнашивания (участок III).

#### Список литературы

1. Tulenov A.T., Pernebekov S.S. A model of optimization of reliability indicators of machines // International Conference on European Science and Technology. Materials of the 5-International research and opactice conference. - Vol. 1. - Munich, Germany, 2013. - p. 492-497.
2. Tulenov A.T., Gorskaya N.A. Influence of climatic and road conditions of south regions of Kazakhstan upon the work of motor transport Materialy IX Międzynarodowej naukowii-praktycznej konferencji «Nauka i inowacja - 2013» Volume 18. Techniczne nauki: Przemysł. Nauka i studia - str. 56-60.
3. Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем. - М.: Изд-во ООО «Магистр-Пресс», 2005. - 536 с.

Получено 29.01.2016

ЭОЖ 621.91.01

**К.Т. Шеров, А.К. Шеров, М.М. Мусаев, Б.С. Дөненбаев, С.Ж. Жанұзақов**

Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, Қарағанды қ.,

**Д.Т. Ходжибергенев**

М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент қ.

**Т.Б. Курманғалиев**

Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан мемлекеттік техникалық университеті,

Өскемен қ.

#### ТЕТІКТЕРДІ МЕХАНИКАЛЫҚ ӨНДЕУДЕ КЕСУ СҰЛБАЛАРЫНЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Тетіктердің маңызды эксплуатациялық сапалары (ұзақ жұмыс істеуі, орын ауыстыруының бір қалыптылығы, конструктор тарапынан берілген дәлдік пен шақтамаларының сақталуы, беріктігі, коррозияға төзімділігі, магниттік қасиеттері, жылу беруге, жылулық сәулеленуге қабілеті және т.б.) тетіктерді дайындаудың құрылымдық пішіндері мен дәлдігіне, олардың материалының құрамы мен құрылымына ғана емес, механикалық өңдеу процесінде металдың беттік қабаты алатын бет сапасының жекелеген сипаттамаларына да тәуелді болады. Механикалық өңдеу әдістерінің, сұлбалары мен тәртіптерінің өзгеруі бет сапасының жекелеген сипаттамаларына, сәйкесінше тетіктердің эксплуатациялық қасиеттеріне әсер етеді. Осы тұрғыдан алып қарағанда, жекелеген технологиялық операциялардан және оларды дайындаудың барлық технологиялық

процестерінен бет сапасы мен олар анықтайтын тетіктің эксплуатациялық қасиеттері туындайтын бірізділіктің бар екенін айтқан жөн. Осыған байланысты механикалық өндеудің тиімді әдістерін, сұлбаларын және механикалық өндеу тәртіптерін үйрену және зерттеу *өзекті мәселе* болып табылады.

Механикалық өндеудің қолданыстағы әдістері құралдың кескіш бөлігі, кетуші жоңқа және өңделген беттер арасындағы сырғу принципіне негізделген [1, 2]. Салыстырмалы сырғу жылдамдығы елеулі өлшемде процесті орындаудың энергетикалық шығындарын [3], құрал беріктігін және өңделген беттің сапасын анықтайды. Сонымен қатар құрал мен өңделетін бет арасындағы түйісу аймағындағы салыстырмалы сырғу жылдамдығын төмендету олардың өзара әрекеті кезінде сырғуды тербелуге алмастырумен қол жеткізілуі мүмкін.

Дайындамадан қандай да бір қабат кесіп алу үшін құралды металға енгізу қажет, оны сәйкес күшпен әсер ету арқылы және құралдың қаттылығы оның жеткілікті беріктігі кезінде өңделетін металдан артық болған жағдайда іске асыруға болады. Құралдың келесі салыстырмалы қозғалысы кезінде оның жеткілікті беріктігі өңделетін металдың қаттылығынан артық болады. Құралдың және дайындаманың келесі салыстырмалы қозғалысы кезінде, яғни кесу процесі кезінде, құрал, әсіресе оның кескіш бөлігі (өңделетін металмен тікелей жанасатын) елеулі қысымға, үйкелуге және қызуға ұшырайды, ол өз кезегінде кескіш құралдың тозуына, ал кейде толық күйреуіне әкеліп соғады. Сондықтан да кескіш құралды жасауға арналған материалға қойылатын негізгі талаптар:

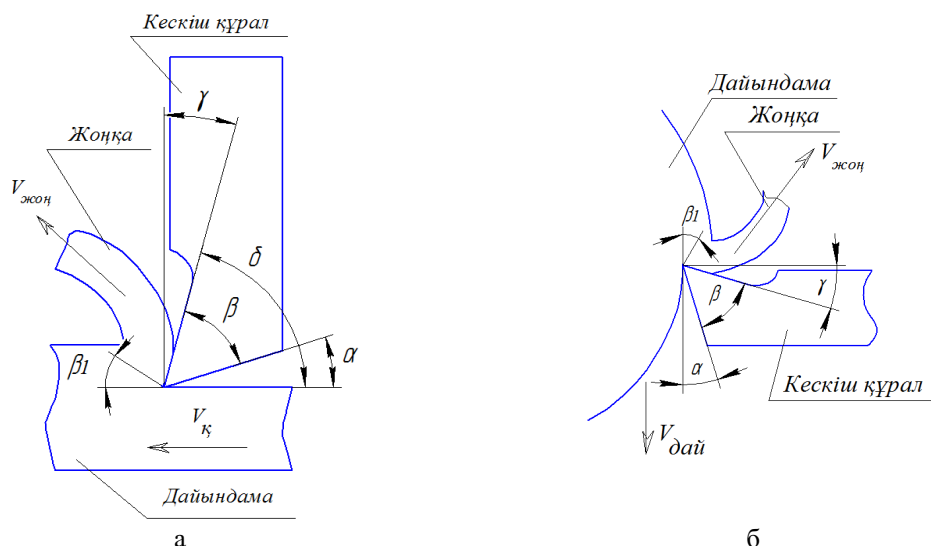
- жеткілікті қаттылық және беріктік;
- қызудың жоғары температурасында және ұзақ уақыт кезіндегі тозуға төзімділік [3].

Жаңа құралдық материалдарға, құралдың жұмыс беттерін беріктендіруге және кескіш бөліктің геометриясын оңтайландыруға негізделген қолданыстағы кескіш құралдардың беріктігін арттырудың белгілі әдістері қазіргі уақытта таусылудың аз-ақ алдында. Олар құралдың тозуының басты себебі – кесу аймағында құрал мен дайындаманың түйіспесінде сырғу үйкелісінің болуын алып тастай алмайды, тек осы үйкелістің салдарына төтеп береді, яғни жылу шығару беріктігіне, құралдың жұмыс беттерінің механикалық және адгезиялы тозуына әсерін азайтады [4, 5].

Кесу процесінің дәстүрлі сұлбаларын қарастырсақ, кескіш құрал дайындамаға белгілі тереңдікке ене отырып, өте үлкен деформация жұмысын атқарады. Осылайша кесу жылдамдықтарының және жоңқаның бағыты едәуір ауытқиды.

Кесуші құралдың алдыңғы беті еңістің өңделетін беттен ажырау процесінде оны тоқтата отырып, қарсы жаққа бағыттайды. Осылайша ажырайтын жоңқа үлкен деформацияға ұшырайды, ол кесу температурасының артуына, құралдың тозуына және т.б. әкеліп соғады. Құралдың беріктігін сақтай отырып, кесу процесін жақсарту үшін алдыңғы  $\gamma$  бұрышын арттыру мүмкіндігі жоқ. Жүзбен өндеудің барлық дәстүрлі сұлбаларында кесу бұрыштарымен және сынаның өзінің  $\beta$  бұрышымен сипатталатын кескіш сынаны атап өтуге болады. Осы бұрыштарды таңдау кезінде кескіш бөліктің конструкциясына қойылатын екі еселенген талаптарды ескеру қажет. Осылайша кескіш сынаның максимал беріктігін қамтамасыз ету үшін, сынаның  $\beta$  бұрышын арттырып,  $\alpha$  бұрышының минимал қажетті мәнін таңдау керек [6, 7].

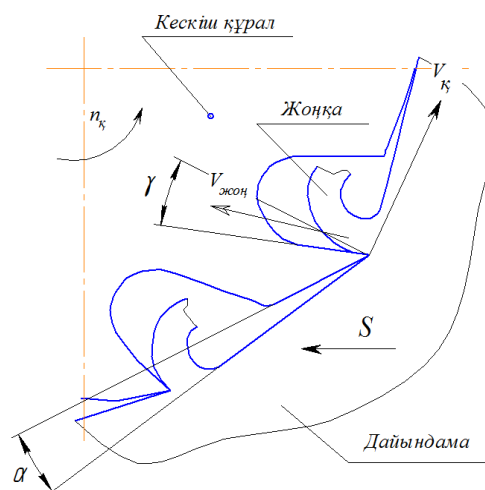
Материалдарды жүзбен дәстүрлі өндеудің [8] тәжірибесінде ең көп қолданыс тапқан кесу сұлбаларын шартты түрде екі топқа бөлуге болады. Олардың біріншісі кесу жиегі мен өңделетін материал арасында үздіксіз түйісуімен бір рет өту процесін қарастырады. Мұндай сұлба, мысалы, жону, сүргілеу, тартумен сүргілеу кезінде орынды (1-сурет).



1-сурет - Материалдарды жүзбен өндеудің дәстүрлі әдістері: а - тартумен сүргілеу; б - жону

Бұл ретте кескіш құрал статикалық бекітілген немесе беріс қозғалысы жылдамдығымен қозғалады. Кесу процесінің үздіксіздігімен қамтамасыз етілетін салыстырмалы тұрақтылық және технологиялық жүйенің қатаңдығы осы сұлбаның жұмысы кезінде оның негізгі артықшылығы болып табылады. Сонымен қатар осы сұлбаның маңызды артықшылықтарының бірін атап өту керек, ол - кесу режимдері дұрыс таңдалған кезде түйісудің үздіксіздігі алдын ала пластикалық деформация аймағында өңделетін материал қабаттарының беріксізденуіне септігін тигізеді. Сондай-ақ құралдың кесу жиегі мен түйісу беттері өтуге кететін барлық уақыт бойы көп мөлшерде термодинамикалық кернеулерге ұшырайды, бұл осы сұлбаға тиесілі кемшілік болып табылады.

Кесу сұлбаларының екінші тобы бірнеше кескіш тісі бар кесу құралының айналымы болуымен сипатталады (2-сурет).



2-сурет - Материалдарды жүзбен өндеудің фрезерлеу әдісі

Әрбір тіс периодты қысқа уақытта кесу процесіне қатысады және бос жүріс уақытында өзінің беріктік қасиеттерін қалпына келтіріп үлгереді. Бір өтудегі алынатын әдіп әр тіске үйлестіріледі. Бұл артықшылықтар кесу процесінің өнімділігін біршама ұлғайтуға мүмкіндік береді. Алайда әр тіспен кесу процесінің кідірмелілігі кесу күштерінің қосымша ауытқуына себеп болады, сондай-ақ көбінесе өңделетін материалдың кесу аймағында беріктенуіне әкеліп соғады. Бұл жағдайлар өңделетін беттің сапасына және кесуші құралдың беріктігіне кері әсерін тигізеді. Белгіленгеннен өзге, екі топқа да тән басқа екі фактор бар: біріншісі - кесу процесі кезінде алынатын жоңқа түйісу жағымен алдыңғы бетке, ал өңделген бет құралдың артқы бетімен үйкеледі. Бұл ретте екі фрикционды түйісу де аса ауыр жағдайда жұмыс жасайды; екінші фактор да құралдың беріктігіне кері әсер етеді – кесілетін әдіпті жоңқаға деформациялауға жұмсалатын үлкен энергетикалық шығындардың қажеттілігі. Бұның себебі – жоңқаның түсу бағыты  $V_{\text{жон}}$  кесудің басты жылдамдығына  $V$  қарама-қарсы болады.

Жоғарыда көрсетілген дәстүрлі кесудің механикалық өңдеу сұлбасын сараптаудан келесіні тұжырымдауға болады:

*Жону, сүргілеу*

- кемшіліктері: бір кескіш жүз; деформация жұмысы  $A_{\text{деф}} - \max$ ,  $V \neq V_{\text{жон}} = \max$  болған кезде;  $\sigma$  және  $T$  °C әсері тұрақты; үйкелу коэффициенті  $\mu \rightarrow \mu_{\text{үйк. алд.}}$  және  $\mu_{\text{үйк. арт.}} > 0,7$  [9]; кесу бұрышы  $\delta \rightarrow \beta < \delta < 90^\circ$ ; интенсивті тозу; жоңқа проблемалары;

- артықшылықтары:  $R_{\text{кес}}$ ,  $T^0$  тұрақтылығы; БҚҚТ жүйесінің қатандығы; өңделетін материал алдын ала деформация және жылжу аймағында беріксізденеді.

*Тартумен сүргілеуде бірнеше кескіш жүз қолданылады, басқа кемшіліктері мен артықшылықтары жоғарыда айтылғандай.*

*Фрезерлік өңдеу*

- кемшіліктері: жоғарыдағы кемшіліктер сақталады, қосымша  $\sigma$  және  $T$  °C тұрақсыздығы;

- артықшылықтары:  $\sigma$  және  $T$  °C әсері қысқа уақытты.

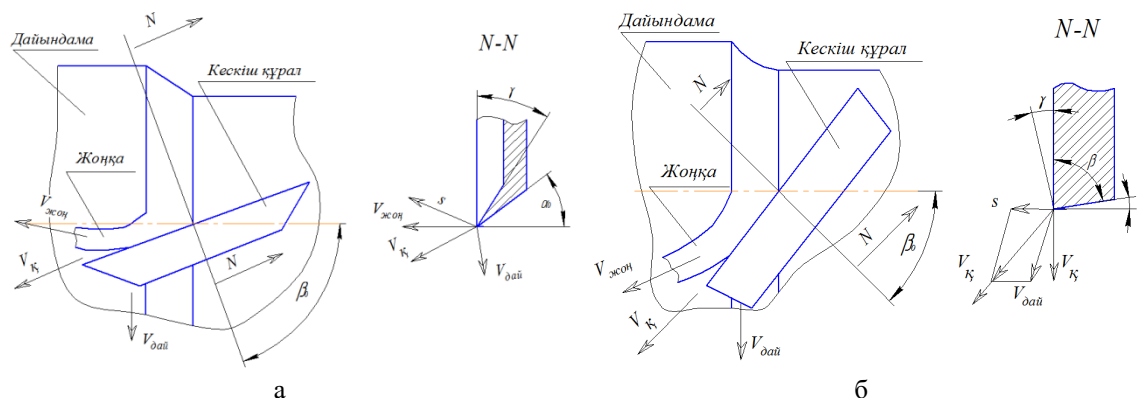
2. *Кесуші жиектер саны бірнеше (прогрессивтілік).*

Фрезерлік өңдеудегі артықшылықтарды сақтай отыра, сол мезетте кемшіліктерді жою (немесе әсерлерін азайту) арқылы өздеріне тән кесудің ең тиімді сұлбасына талаптар құраймыз, ол келесілерге мүмкіндік беруі тиіс: деформация жұмысы  $A_{\text{деф}} - \min$ ; үйкелу коэффициенті  $\mu - \min$ ; кесу температурасы  $Q - \min$ ;  $\sigma - \min$ ;  $\gamma - \max$ ;  $\beta_1 \approx 45^\circ$ ; прогрессивтік.

Бұдан өзге, кесу сұлбасы мөлшері бойынша мүмкін болған максимал бұрышты сақтау кезінде кең диапазонда бұрыш өлшемдерін түрлендіру мүмкіндігін қамтамасыз етуі, сондай-ақ кескіш жиектің өңделетін материалмен түйісуінің үздіксіздігін қамтамасыз етуі, кескіш жиекті жоңқа түсу жылдамдығына тең болған жылдамдықпен жаңартуы, жоңқа түсу жылдамдығы мен басты қозғалыс жылдамдығы бағытының сәйкестігін қамтамасыз етуі, алынатын әдіпті жекелеген кесуші жиектеріне немесе элементтеріне үйлестіруі қажет. Металдарды кесумен өңдеудің қолданыстағы әдістерін және практикалық тәсілдерін дамыту және жаңа түрлерін құру көп қолданыс таба бастаған және механикалық өңдеудің дәстүрлі түрлерін ығыстыра бастаған кесудің басқа амалдарын қолданусыз мүмкін емес.

Қазіргі уақытта алдыңғы қатарлы машинажасау өндірістерінде механикалық өңдеудің дәстүрлі емес әдістері кең қолданыс тапқан, олардың қатарына ротациялық өңдеу әдістері де кіреді [10]. Ротациялық кесу [4] сұлбасы 3-суретте келтірілген және барлық аталған артықшылықтарға ие.





3-сурет - Материалдарды ротациялық өңдеу әдістері: а - тостағанды кескішпен ротациялық өңдеу; б - сақина түріндегі кескіш элементпен ротациялық өңдеу

Бірақ бұл сұлбаның ең басты кемшіліктерінің бірі – кескіш құралды орнату бұрышы  $\beta_0$ , онда кесу  $V_{жқ}$  жоңқа  $V_{жқ}$  құрал  $V_{жқ}$  жылдамдықтары және беріс  $S$  үлкен ауытқуларға ие. Келесі кемшілік – тостағанды кескіш құралын қолдану, ол кесу кезінде сырғып кетіп отырады.

Зерттеулер кесудің түйіспелі және жылулық процестерінің жүйелік физика-механикалық сараптауына және материалдарды кесумен өңдеу теориясының негізгі қағидаларына негізделген. Теориялық зерттеулердің біршамасы құралдың кинематикадағы геометриялық орнықтыру параметрлерін есептеумен байланысты болды.

Жүргізілген талдау нәтижелеріне сүйене отырып, келесідей қорытынды жасауға болады:

1. Түйісу аймақтарында белгілі мөлшерде сырғуды тербеліске алмастыруды қамтамасыз ететін кесу сұлбалары ең үлкен тиімділікпен ерекшеленеді. Сырғуды тербелуге алмастырумен металдарды кесу және осы процесті іске асыратын құралдарды ротациялық деп атайды, себебі құралдың жұмыс беттерінің өңделетін материалмен әсерлесуі кезінде тербелуді жүзеге асыру кесуді ротациялық өңдеу класына ауыстырады.

2. Айналымды кескіш жүздің елеулі ұзындығының, сондай-ақ кескіш жүзді бос жүріс уақытында суытудың жақсы жағдайларының арқасында кесу аймағындағы температура ротациялық құралмен өңдеу кезінде дәстүрлі құралмен өңдеуге қарағанда 40 % дейін төмендейді.

3. Кесу процесін жақсарту бағыттарының бірі кесу аймағында сырғу үйкелісін тербелу үйкелісіне алмастыру болып табылады, ол құралдық және өңделетін материалдардың деформациялық жұмысын төмендетеді. Осындай қасиеттерге ротациондық өңдеу әдістері ғана ие және олардың технологиялық мүмкіндіктерін одан әрі ғылыми зерттеу өзекті мәселе болып отыр.

#### Әдебиеттер

1. Данилов В.А. Схемы ротационного резания металлов комбинированными инструментами // Машиностроение. – 1990. – № 15. – С. 12-17.
2. Xinghui Han. Effect of size of the cylindrical workpiece on the coldrotary-forging process/ Xinghui Han, Lin Hua // Materials & Design. – Wuhan, 2009. – № 8. – P. 2802-2812.
3. Аваков А.А. Физические основы теории стойкости режущих инструментов. – М.: Машгиз, 1960. – 307 с.

4. Новоселов Ю.А. Анализ геометрии ротационного резца в процессе резания / Ю.А. Новоселов, А.А. Попок // Машиностроение. – М., 1984. – № 3. – С. 45-47.
5. Коновалов Е.Г. Прогрессивные схемы ротационного резания металлов / Е.Г. Коновалов, В.А. Сидоренко, А.В. Соусь. – Минск: Наука и техника, 1972. – 272 с.
6. Armarego E.J.A. Computer-Aided Predictive Models for Fundamental rotary Tool Cutting Processes / E.J.A. Armarego, V. Karri, A.J.R. Smith // CIRP Annals - Manufacturing Technology. – 1993. – № 1. – P. 49-54.
7. Суслов А.Г. Научные основы технологии машиностроения / А.Г. Суслов, А.М. Дальский. – М: Машиностроение, 2002. – 684 с.
8. Вильнер Г.С. Токарная обработка деталей // Технология машиностроения. – М., 2001. – № 5. – С. 4.
9. Вильнер Г.С. К вопросу определения угла сдвига при резании металлов // Машиностроение. – М., 2000. – № 5. – С. 95-100.
10. Бобров Ф.В. Влияние угла наклона главной режущей кромки инструмента на процесс резания металлов. – М.: Машгиз, 1962. – 150 с.

Получено 20.01.2016