

Цілеспрямований вплив на об'єкт управління може здійснюватися за допомогою адміністративних, економічних, соціальних та ідеологічних методів.

Вплив мотивації на поведінку людини залежить від багатьох чинників, він є індивідуальним і може змінюватися під дією мотивів і зворотного зв'язку з діяльністю людини. Спонукальну чинність спричинює стан напруженості, що виникає й існує внаслідок незадоволеності потреб.

А. Романчук у своїй статті наводить результати опитування проведеного серед працівників Іллічівського порту про значимість для них різних видів мотивації [1].

Результати опитування не підтвердили, що найважливіше значення має матеріальний стимул, і в першу чергу - грошовий заробіток. Даний мотив по ступеню важливості розташовується на четвертому місці.

На першому й другому місцях відповідно розташувалися мотиви - задоволення від самого процесу й результату роботи, можливість найбільш повної самореалізації. Останнє 7-е місце займає мотив - прагнення до просування по службі.

І все ж порівняння значимості мотивів за абсолютними значеннями кількості отриманих оцінок свідчить, що для працівників найбільшу роль відіграють мотиви задоволення від процесу й результату роботи - 86 оцінок і можливість самореалізації - 72 оцінки.

За результатами опитування можна зробити висновок, що в процесі діяльності люди керуються не тільки матеріальними інтересами, але й стимулами нематеріального характеру. Отримані висновки дозволяють цілеспрямовувати мотиваційний механізм.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Грунтуючись на принципах які наведено вище, необхідно на кожному підприємстві розробити свої положення про механізм мотиваційного регулювання охорони праці, які, з одного боку, встановлювали порядок стимулювання (заохочення) за позитивні результати й активне сприяння в розв'язку працезахоронних проблем, а з іншого - вживання заходів впливу за невиконання нормативних вимог, трудових обов'язків і заходів, за незадовільний стан охорони праці.

Список літератури

1. Романчук А. Мотивация в охране труда - только принуждением проблемы не решит [Електронний ресурс] / Романчук А. // Ежемесячное информационное издание «Все об охране труда» - Режим доступа до журн : <http://ot.org.ua/stati/motivacija-v-ohrane-truda-tolko-prinuzhdeniem-problemu-ne-riahit.html>.
2. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-ХІІ : за станом на 18.11.2012 р. [Електронний ресурс] / Верховна Рада України // Офіційний веб-портал - Режим доступа до порталу : <http://www.zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2694-xii>.
3. Завадский И. Факторы мотивации персонала в менеджменте / Завадский И, Л. Червинская // Экономика Украины. - 1999. - №9. - С. 53-59.

Рукопис подано до редакції 21.03.13

УДК 621.771.01

А.Г. ПРИСЯЖНЫЙ, ст. преподаватель,
ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет»,
М.Г. КОРЕНКО, канд. техн. наук, ГВУЗ «Криворожский национальный университет»,
Н.В. СТАРОСТА, аспирант, Донбасская государственная машиностроительная академия

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ХОЛОДНОЙ ТОНКОЛИСТОВОЙ ПРОКАТКЕ

В статье применительно к холодной тонколистовой прокатке проанализированы наиболее широко распространенные методы расчета показателей напряженно-деформированного состояния металла. Дана сравнительная оценка численных одномерных математических моделей различного уровня сложности и подтверждена целесообразность их широкого использования в практике компьютерного моделирования процесса холодной прокатки тонких полос.

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. В связи с интенсивным

развитием вычислительной техники существенно возросло значение компьютерного моделирования для определения наиболее эффективных технологических режимов процессов пластической деформации металлов, в том числе и процесса холодной тонколистовой прокатки. При этом широко используются различные математические модели, отличающиеся между собой характером принятых допущений, уровнем сложности их численной реализации, а также объемом и степенью достоверности получаемых результатов.

Анализ исследований и публикаций. Определение показателей напряженно-деформированного состояния металла часто осуществляют по математическим моделям, полученным на основе использования инженерных методов теории пластичности [1-3]. Несмотря на относительную простоту, аналитические решения, полученные указанными выше методами, характеризуются рядом недостатков, наиболее существенными из которых являются пренебрежение упругим восстановлением полосы на выходе из очага деформации, чрезмерное упрощение реальной формы линии контакта деформируемого материала с валками, а также усреднение коэффициента контактного трения по всей длине деформационной зоны.

Существенное увеличение степени достоверности получаемой в результате численного эксперимента информации может быть достигнуто на основе применения методов конечных и граничных элементов [4]. Вместе с тем высокая трудоемкость и существенные затраты машинного времени на одну численную реализацию ограничивают использование этих методов.

В связи с изложенным для расчета характеристик напряженно-деформированного состояния металла при холодной тонколистовой прокатке обоснованным является применение численных одномерных математических моделей различных уровней сложности [5-8]. Указанные математические модели базируются на организации численных рекуррентных решений конечно-разностных форм условий статико-динамического (статического) равновесия или баланса энергетических затрат, рассматриваемых в рамках каждого отдельно выделенного элементарного объема деформационной зоны валков. Вместе с тем представляет значительный интерес сопоставительный анализ численных одномерных математических моделей напряженно-деформированного состояния при холодной прокатке тонколистовой стали, соответствующих различным уровням сложности.

Постановка задачи. Целью работы является сравнительный анализ одномерных численных математических моделей для расчета основных показателей напряженно-деформированного состояния металла при холодной тонколистовой прокатке.

Изложение материала и результаты. В рамках данной работы для определения показателей напряженного состояния применяется силовой подход, заключающийся в определении показателей напряженно-деформированного состояния материала путем реализации численного рекуррентного решения конечно-разностной формы условия статико-динамического равновесия каждого отдельно выделенного элементарного объема очага деформации. Последний в соответствии с представленной на рис. 1а схемой принят состоящим из зоны упругого восстановления полосы на выходе из валков L_{yn} и зоны пластического формоизменения металла L_{pl} , включающей зоны отставания L_{om} и опережения L_{on} .

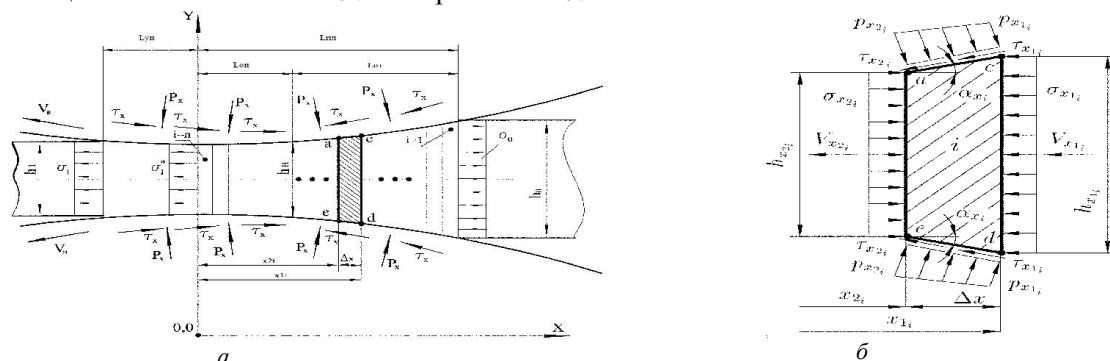


Рис. 1. Расчетные схемы интегрального очага деформации *a* и выделенного *i*-го элементарного объема зоны пластического формоизменения *b* применительно к одномерному численному математическому моделированию напряженно-деформированного состояния металла при холодной тонколистовой прокатке

В рамках рассматриваемых математических моделей были приняты такие приближения: деформация металла является двумерной и установившейся во времени; пластическое течение

металла в очаге деформации подчиняется гипотезе плоских сечений [6]; нормальные осевые напряжения и удвоенные значения сопротивления деформируемого материала чистому сдвигу распределены равномерно по высоте каждого поперечного сечения деформационной зоны; контактные нормальные ($p_{xi1}-p_{xi2}$) и касательные напряжения ($\tau_{xi1}-\tau_{xi2}$) по длине каждого i -го элементарного объема зоны пластического формоизменения изменяются линейно, а угол контакта α_{xi} в пределах данного элементарного объема является величиной постоянной (см. рис.1).

С учетом принятых выше допущений конечно-разностная форма уравнения статико-динамического равновесия каждого из n элементарных объемов зоны пластического формоизменения очага деформации будет иметь следующий вид

$$\begin{aligned} & \sigma_{xi2} \cdot h_{xi2} - \sigma_{xi1} \cdot h_{xi1} + p_{xi1} \cdot \alpha_{xi} \cdot \Delta x + p_{xi2} \cdot \alpha_{xi} \cdot \Delta x - \Delta x \cdot (\tau_{xi1} + \tau_{xi2}) + \\ & + 0,25 \cdot \rho_M \cdot (h_{xi1} + h_{xi2}) \cdot (V_{xi2}^2 - V_{xi1}^2), \end{aligned} \quad (1)$$

где σ_{xi1} и σ_{xi2} - нормальные осевые напряжения, действующие соответственно в начальном cd и конечном ae граничных сечениях (см. рис.1б) i -го элементарного объема зоны пластического формоизменения ($i=1 \dots n$); h_{xi1} и h_{xi2} - значения толщины полосы соответственно в начальном и конечном граничных сечениях i -го элементарного объема; x_{i1} и x_{i2} - геометрические координаты соответственно начального и конечного граничных сечений i -го элементарного объема; p_{xi1} и p_{xi2} - контактные нормальные напряжения, действующие соответственно на начальном и конечном граничных сечениях i -го элементарного объема; α_{xi} - угол контакта металла с валками в пределах i -го элементарного объема; $\Delta x = l_{пл}/n$ - шаг разбиения зоны пластического формоизменения; τ_{xi1} и τ_{xi2} - контактные касательные напряжения, действующие соответственно на начальном и конечном граничных сечениях i -го элементарного объема; ρ_M - плотность деформируемого металла; V_{xi1} и V_{xi2} - скорость движения деформируемого металла соответственно в начальном и конечном граничных сечениях i -го элементарного объема.

Нормальные осевые напряжения изменяются в пределах (см. рис.1а) от напряжений заднего натяжения σ_0 до напряжений переднего натяжения σ_1 (на границе раздела зон упругого восстановления и пластического формоизменения металла действуют напряжения σ_1^*). При этом для условий реализации процесса холодной тонколистовой прокатки угол контакта деформируемой полосы с рабочими валками в пределах каждого i -го из n выделенных в деформационной зоне элементарных объемов металла может быть рассчитан по формуле

$$\alpha_{xi} = (h_{xi1} - h_{xi2}) / 2 \cdot \Delta x. \quad (2)$$

В рассматриваемом случае изменение скорости движения прокатываемого материала по длине зоны пластического формоизменения определяется на основе уравнения

$$V_{xi1(2)} = V_1 \cdot h_1 / h_{xi1(2)} = V_B \cdot h_H / h_{xi1(2)}, \quad (3)$$

где V_1 - скорость выхода полосы из очага деформации (скорость прокатки); V_B - окружная скорость рабочих валков; h_H - толщина полосы в нейтральном сечении очага деформации.

В теории пластической деформации металлов контактные касательные напряжения чаще всего связывают с контактными нормальными напряжениями или сопротивлением обрабатываемого материала деформации через коэффициент трения и показатель сил трения соответственно [9]. При этом одномерные численные математические модели напряженно-деформированного состояния при холодной тонколистовой прокатке можно распределить по двум уровням композиционной сложности [6,7]:

для математических моделей 1-го уровня характерны определение контактных касательных напряжений по закону Амонтона-Кулона [9] и усреднение коэффициента контактного трения по всей длине зоны пластического формоизменения металла;

математические модели 2-го уровня также предполагают расчет значений напряжений сил трения в соответствии с законом Амонтона-Кулона, но уже с учетом непостоянства коэффициента контактного трения по длине очага деформации.

В соответствии со сказанным выше граничные условия на контактных поверхностях в математических моделях 1-го уровня композиционной сложности задаются в виде

$$\tau_{xi1(2)} = f_c \cdot p_{xi1(2)}, \quad (4)$$

где f_c - коэффициент контактного трения, принимаемый на основе экспериментальных данных работ [9] постоянным по длине зоны пластического формоизменения металла.

При использовании математических моделей 2-го уровня композиционной сложности напряжения сил контактного трения рассчитываются по уравнению

$$\tau_{x_{i1}(2)} = f_{x_{i1}(2)} \cdot P_{x_{i1}(2)}, \quad (5)$$

где $f_{x_{i1}(2)}$ – коэффициент контактного трения, соответствующий начальному или конечному граничным сечениям i -го элементарного объема зоны пластического формоизменения очага деформации.

Для расчета в соответствии с формулой (5) текущих значений коэффициента трения в зонах отставания и опережения очага деформации использовали рекомендации авторов работ [6,7]

$$f_{x_{i1}(2)} = f_{0от} \left(\left(x_{i1}(2) - L_{он} \right) / \left(L_{пл} - L_{он} \right) \right)^{a_f}; \quad (6)$$

$$f_{x_{i1}(2)} = f_{0он} \left(\left(L_{он} - x_{i1}(2) \right) / L_{он} \right)^{a_f}, \quad (7)$$

где $f_{0от}, f_{0он}$ – опорные значения коэффициента трения; a_f – степенной показатель.

При этом изменение толщины полосы по длине зоны пластического формоизменения для моделей обоих указанных выше уровней сложности упрощенно описывается уравнением [6,7]

$$h_x = h_1 + \Delta h \cdot \left(x / L_{пл} \right)^{a_h}, \quad (8)$$

где h_1 – толщина полосы после пропуска; $\Delta h = h_0 - h_1$ – абсолютное обжатие полосы (h_0 – толщина полосы до пропуска); x – геометрическая координата, изменяющаяся от 0 до $l_{пл}$ (см. рис. 1); a_h – степенной показатель аппроксимации контактных поверхностей [6,7].

В соответствии с данными работы [8] также можно выделить численные математические модели, соответствующие 3-му уровню композиционной сложности. В этом случае математическое моделирование процесса холодной тонколистовой прокатки осуществляется с учетом переменного по длинам зон скольжения коэффициента контактного трения, а также реальной формы контактной линии материала деформируемой полосы с прокатными валками. При этом изменение толщины полосы в очаге деформации описывается уравнением [8]

$$h_{x_{i1}(2)} = h_1 - \delta h_1 - 2(W_{\Sigma i1(2)}|_{x=x_1} \cos \varphi_{i1(2)}|_{x=x_1} - R(1 - \cos \varphi_{i1(2)}) - W_{\Sigma i1(2)} \cos \varphi_{i1(2)}), \quad (9)$$

где δh_1 – упругое сплющивание полосы в сечении на выходе ее из зоны пластического формоизменения; x_1 – геометрическая координата сечения, соответствующего началу увеличения h_x ; $W_{\Sigma i1(2)}$ – радиальное перемещение образующей поверхности рабочих валков, определяемое на основе решения Штаермана [8] и соответствующее начальному или конечному граничным сечениям i -го элементарного объема очага деформации; $\varphi_{i1(2)}$ – текущий угол контакта в очаге деформации, соответствующий начальному или конечному граничным сечениям данного элементарного объема; R – радиус валков.

Чтобы решить уравнение (1) относительно неизвестного в конечном граничном сечении i -го элементарного объема зоны пластического формоизменения контактного нормального напряжения $p_{x_{i2}}$, необходимо исключить из указанного уравнения нормальное осевое напряжение $\sigma_{x_{i2}}$. Для этого используется условие пластичности Губера-Мизеса-Генки, инженерный вариант записи которого имеет следующий вид [1-3]

$$P_{x_{i1}(2)} - \sigma_{x_{i1}(2)} = 2k_{x_{i1}(2)}, \quad (10)$$

где $2k_{x_{i1}(2)}$ – удвоенное значение сопротивления деформируемого металла чистому сдвигу.

Удвоенное значение сопротивления деформируемого металла чистому сдвигу, соответствующее начальному или конечному граничным сечениям i -го элементарного объема зоны пластического формоизменения, целесообразно рассчитывать по уравнению [6]

$$2k_{x_{i1}(2)} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \left(\sigma_{т0} + a_1 \cdot \varepsilon_{ux_{i1}(2)} + a_2 \cdot \varepsilon_{ux_{i1}(2)}^2 + a_3 \cdot \varepsilon_{ux_{i1}(2)}^3 \right), \quad (11)$$

где $\sigma_{т0}$ – исходный предел текучести деформируемого металла; a_1, a_2, a_3 – эмпирические коэффициенты; $\varepsilon_{ux_{i1}(2)} = 1,155 \cdot \ln(h_0/h_{x_{i1}(2)})$ – значение интенсивности деформации металла, соответствующее начальному или конечному граничным сечениям i -го элементарного объема зоны пластического формоизменения.

С учетом изложенного уравнение для определения контактного нормального напряжения $p_{x_{i2}}$ можно представить так (знак «+» в указанном уравнении соответствует зоне отставания, а

знак «-» – зоне опережения очага деформации)

$$p_{xi2} = (2k_{xi2} \cdot h_{xi2} + \sigma_{xil} \cdot h_{xil} - p_{xil} \cdot \alpha_{xi} \cdot \Delta x \pm \Delta x \cdot (\tau_{xil} + \tau_{xi2}) - 0,25 \cdot \rho_M \cdot (h_{xil} + h_{xi2}) \cdot (V_{xi2}^2 - V_{xil}^2)) / (h_{xi2} + \alpha_{xi} \cdot \Delta x), \quad (12)$$

По мере расчета p_{xi2} согласно формуле (12) по уравнениям (4), (5) и (10) соответственно могут быть также установлены неизвестные в конечном сечении i -го элементарного объема зоны пластического формоизменения значения контактных касательных и нормальных осевых напряжений. При этом для математических моделей 2-го и 3-го уровней композиционной сложности направление рекуррентного решения уравнения (1) соответствует направлению прокатки, а начальные условия и условия связи во всех рассматриваемых случаях имеют следующий вид

$$\begin{aligned} x_{i1} \Big|_{i=1} &= l_{пл}; h_{xi1} \Big|_{i=1} = h_0; 2k_{xi1} \Big|_{i=1} = 2k_0; p_{xi1} \Big|_{i=1} = 0.0; \sigma_{xil} \Big|_{i=1} = -\sigma_0; \\ f_{xi1} \Big|_{i=1} &= f_{0от}; x_{(i+1)1} = x_{i2}; x_{(i+1)2} = x_{(i+1)1} - \Delta x; h_{x(i+1)1} = h_{xi2}; \\ \sigma_{x(i+1)1} &= \sigma_{xi2}; f_{x(i+1)1} = f_{xi2}; p_{x(i+1)1} = p_{xi2}; 2k_{x(i+1)1} = 2k_{xi2}, \end{aligned} \quad (13)$$

где $2k_0$ - исходное значение удвоенного сопротивления деформируемого материала чистому сдвигу; σ_0 - напряжение заднего натяжения.

В целом, представленные зависимости составили полные алгоритмы одномерного численного математического моделирования процесса холодной тонколистовой прокатки, результаты которого представлены на рис. 2.

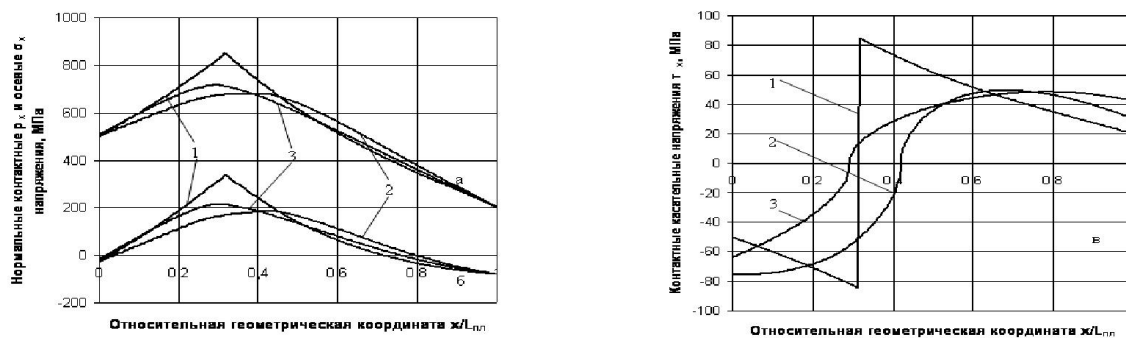


Рис. 2. Расчетные распределения по длине зоны пластической деформации нормальных контактных a и осевых b , а также контактных касательных b напряжений, полученные при использовании численных одномерных математических моделей 1-го (1), 2-го (2) и 3-го (3) уровней сложности применительно к холодной прокатке в валках радиусом $R=250$ мм отожженных полос стали марки 08кп начальной толщиной $h_0=2,0$ мм с интенсивностью деформации $\varepsilon_{ii}=0,332$ и напряжениями переднего и заднего натяжения $\sigma_0=\sigma_1=80$ МПа

Как показывает анализ рис. 2, распределения по длине зоны пластического формоизменения локальных характеристик напряженного состояния, полученные с использованием математических моделей 1,2 и 3-го уровней композиционной сложности, несколько отличаются. Усреднение коэффициента трения по длине очага деформации обуславливает получение завышенных значений нормальных контактных и осевых, а также контактных касательных напряжений; полученные при этом формы эпюр локальных характеристик напряженного состояния металла плохо согласуются с экспериментальными данными работы [9]. Характер изменения по длине зоны пластической деформации нормальных контактных и касательных напряжений, полученный в результате математического моделирования с использованием моделей 2-го и 3-го уровней сложности, в значительно большей степени соответствует результатам экспериментальных исследований [9].

Выводы и направление дальнейших исследований. Обоснована целесообразность применения численных одномерных математических моделей при исследовании холодной прокатки тонколистовой стали. Описаны математические модели различного уровня сложности. Показано, что в условиях реализации холодной прокатки тонких полос максимально точные распределения локальных характеристик напряженного состояния металла могут быть получены с учетом изменения коэффициента контактного трения по длине очага деформации и реальной формы контактной линии полосы с валками.

Список літератури

1. Никитин, Г. С. Теория непрерывной продольной прокатки : учеб. пособие / Г. С. Никитин. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2009. – 399 с.
2. Процесс прокатки / М.А. Зайков, В.П. Полухин, А.М. Зайков, Л.Н. Смирнов. – М.: МИСИС, 2004. – 640 с.
3. Грудев, А. П. Теория прокатки / А.П. Грудев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Интермет Инжиниринг, 2001. – 280 с.
4. Компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением. Численные методы / В.Н. Данченко, А.А. Миленин, В.И. Кузьменко, В.А. Гринкевич. – Днепропетровск: «Системные технологии», 2005. – 448 с.
5. Мазур, В.Л. Теория и технология тонколистовой прокатки (численный анализ и технические приложения) / В.Л. Мазур, А.В. Ноговицын. - Днепропетровск : РВА «Дніпро-VAL», 2010. – 500 с.
6. Федоринов, В. А. Математическое моделирование напряжений, деформаций и основных показателей качества при прокатке относительно широких листов и полос : монография / В. А. Федоринов, А. В. Сатонин, Э. П. Грибков. - Краматорск: ДГМА, 2010. – 243 с.
7. Сатонин, А.В. Численное конечно-разностное математическое моделирование напряженно-деформированного состояния металла при реализации различных технологических схем обработки давлением / А.В. Сатонин // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : збірник наукових праць. – Краматорськ, 2001. – С. 559-564.
8. Севастьянов, В.С. Одномерная математическая модель процесса холодной прокатки тонких полос / В.С. Севастьянов, Ю.Н. Белобров, В.Н. Тиунов // Металлург, 1999. – №1. – С. 44-46.
9. Контактное трение в процессах обработки металлов давлением / А.Н. Леванов, В.Л. Колмогоров, С.П. Буркин и др. – М.: Металлургия, 1976. – 416 с.

Рукопис подано до редакції 25.02.13

УДК 621.311.001.57

В.П. ЩОКІН, д-р техн. наук, доц., ДВНЗ «Криворізький національний університет»

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СИНТЕЗУ СИСТЕМ ЛІКВІДАЦІЇ ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНИХ ШУМІВ В КАНАЛАХ ЗВ'ЯЗКУ ПРОТИАВАРІЙНОЇ АВТОМАТИКИ ЕНЕРГОСИСТЕМ

Наведено результати розробки методики синтезу ARMABiS-системи ліквідації інтерференційних шумів в каналах передачі даних протиаварійної автоматики енергосистем. Система відрізняється від аналогів, реалізованих на базі мереж Вольтеррі, включенням до структури протиаварійної автоматики авторегресійних моделей джерел помилок у каналах зв'язку, що забезпечило гарантовану стійкість системи, зменшення коливальної складової в процесі адаптації та підвищення швидкодії адаптаційних процесів.

Постановка проблеми у загальному вигляді. В умовах високих темпів трансформації структури Єдиної електроенергетичної системи (ЄЕС) пред'являються підвищені вимоги до пристроїв протиаварійної автоматики, а також принципів керування нормальними, аварійними і післяаварійними режимами енергосистеми.

Комплекси протиаварійної автоматики енергосистем орієнтовані на забезпечення локалізації та ліквідації аварійних режимів в ЄЕС з метою мінімізації збитків від аварій. В той же час, багатofакторність об'єкту керування, яким є ЄЕС, наявність потужних атомних електростанцій з базисним режимом роботи та погіршеними динамічними характеристиками призводить до комплексного рішення задач пов'язаних з забезпеченням паралельної роботи енергосистем при підтримці заданих нормативів статичної та динамічної стійкості.

У сучасних системах протиаварійної автоматики значну частку помилок вносять системи передачі даних, в яких виникають процеси, пов'язані з фізичною структурою каналів зв'язку і мають в своїй основі імовірнісну природу (рис. 1). Відповідно актуальність проблеми синтезу стохастичної моделі джерел помилок в системах передачі даних протиаварійної автоматики енергосистем визначається необхідністю забезпечення високої ефективності протиаварійного керування для різноманітних умов функціонування з урахуванням індивідуальних особливостей ЄЕС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій з проблематики статті. Перешкоди, які присутні в системах передачі даних зменшують достовірність відтворення первинної інформації, що порушує вимоги своєчасності і якості цієї інформації, тому в математичні моделі потоків повідомлень необхідно включати алгоритми ідентифікації джерел помилок. Розробці методів дослідження систем зв'язку в умовах дії шумів і перешкод та моделювання джерел помилок присвячена значна кількість наукових робіт Е.Н. Гильберта, Е.О. Еліота, В.І. Петровича, Б.Д. Фрічмана, В.М. Охорзіна, та інші.

Стохастичні моделі побудовані на основі теорії багатовимірних розподілів і випадкових процесів, модифікація яких запропонована в даній роботі для моделювання джерел помилок,