

Ключові слова: інтенсивна пластична деформація, макро-, мезо-і мікрорівні формування структур.

In article formation of ultrafine-grained and nanostructural constructional materials by means of the ways of the intensive plastic deformation creating conditions of self-streamlining of chaotically organized initial zero structure is considered. Systemically from positions of synergetics levels of formation of structures of constructional materials are presented.

Keywords: intensive plastic deformation, macro – meso – and microlevels of formation of structures.

УДК 628.16:621.981.3

О. І. ТРИШЕВСЬКИЙ, докт. техн. наук, проф., ХНТУСГ
ім. П. Василенка, Харків;

М. В. САЛТАВЕЦЬ, інженер, ХНТУСГ ім. П. Василенка, Харків.

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ОЦІНКИ ЗУСИЛЬ НА ВАЛКИ ШТАБИ, ЩО ПРОКАТУЄТЬСЯ

Викладені результати досліджень щодо підвищення точності визначення зусиль на валках при прокатці штаби при використанні матеріалів математичної моделі прокатки для уточнення розподілу температури по перерізу штаби. Проведено порівняння отриманих результатів з даними експериментальних досліджень прокатки штаби на стані 2250 Алчевського металургійного комбінату.

Ключові слова: гаряча прокатка, штаба, математична модель, тепловий стан, розподіл фактичної температури, зусилля прокатки.

Вступ. Потреби ринку змусили виробників металопродукції скорегувати сортамент штаб, що прокатуються, в напрямку зменшення їх товщин. Інколи це приводило до аварії на прокатних станах (поломок валків) з суттєвими збитками. Поломки валків мали місце і на листових станах Алчевського металургійного комбінату (АМК) при спробі прокатати штаби меншої товщини і більшої ширини.

Аналіз останніх досліджень та літератури. Відомо, що під час пуску станів і освоєння сортаменту виробники мають аналогічні проблеми. В певній мірі це є наслідком того, що на сьогодні немає достатньо точної та надійної методики визначення силових параметрів процесу гарячої прокатки, повністю враховуючої усі аспекти процесу. Тому при проектуванні режиму прокатки, який повинен звести до мінімуму поломки обладнання, необхідно вірно оцінювати зусилля на валки.

Звичайно силу, що діє на валки, визначають за формулою [1]:

$$P = F \times p_{cp}, \quad (1)$$

де P – загальний тиск штаби на валки;

$F = B \times L_d$ – площа контакту;

B – ширина штаби;

L_d – довжина зони деформації;

$p_{cp} = n_\gamma n_\sigma \sigma_\phi$ – контактний тиск штаби на валки;

n_γ – коефіцієнт, що враховує вплив середньої нормальної напруги ($1 \div 1,15$);
 n_σ – коефіцієнт напруженого стану ($0,8 \div 8$);
 σ_ϕ – фактичний опір формозміни з урахуванням впливу температури, швидкості і ступеню деформації.

$$\sigma_\phi = n_T n_H n_V \sigma_T \quad (2)$$

Коефіцієнти n_T , n_H , n_V враховують вплив на опір деформації відповідно температури, наклепу і швидкості деформації. Межа текучості σ_T є основною характеристикою механічних властивостей штаби, що деформується.

Характер впливу температури прокатки на σ_ϕ залежить від величини і швидкості деформації, а вплив останньої, в свою чергу, від температури і наклепу. Вплив швидкості деформації на тиск штаби на валки при прокатці вивчено недостатньо.

При визначенні довжини зони деформації використовують залежність

$$L_d = \sqrt{R \times \Delta h} \quad (3)$$

де R – радіус валка;

Δh – обтиснення в проході.

Мета досліджень, постановка проблеми. Виробничникам дуже важко точно визначити зусилля на валки, користуючись залежностями (1–3), бо значення коефіцієнту n_σ змінюється в дуже широких межах ($0,8 \div 8$). Значення коефіцієнтів n_T , n_H , n_V залежать від температури, а температура по перерізу штаби в зоні деформації – невідома. Практично режими обтиснення визначають експериментальним шляхом на діючому обладнанні. Внаслідок цього, трапляються поломки обладнання. З урахуванням зазначеного метою даного дослідження є підвищення точності визначення зусиль на валках при прокатці штаби з використанням матеріалів математичної моделі прокатки для уточнення розподілу температури по перерізу штаби.

Матеріали досліджень. Для розробки методики оцінки зусиль штаби на валки були використані дані дослідження тиску штаби на валки при прокатці 106 слябів в чистовій клітці на стані 2250 АМК [2]. Внаслідок того, що вплив швидкості деформації на тиск штаби на валки при прокатці вивчено недостатньо, а коефіцієнт напруженого стану n_σ практично невідомий приймали, що коефіцієнти $n_\sigma = n_T = n_H = n_V = 1$, бо припустиму похибку в 15% вже закладено в значення коефіцієнту n_γ ($1 \div 1,15$).

Максимальне значення похибки в 15 %, що допустима в інженерних розрахунках, при підстановці в рівняння коефіцієнту, значення якого змінюються не на $10 \div 15\%$, а в 10 разів ($n_\sigma = 0,8 \div 8$) [3] витримати неможливо.

Відомо, що межа текучості металу σ_T при розтягуванні залежить від діаметру зразка [4]. У відповідності до стандарту зразок для випробувань приймається діаметром 7,5 мм.

Оскільки у стандартах відсутня інформація про значення межі текучості при високих температурах, зрозуміло, що ці дані необхідно або

знайти у технічній літературі, або визначити самостійно. Найбільшу похибку при обчисленні вносить помилкове визначення фактичної величини опору деформації σ_{ϕ} , замість якої часто приймають межу текучості σ_T , або межу міцності σ_B [3].

В таблиці 1 представлено результати, що були отримані при виконанні роботи [2].

Згідно з технологічною інструкцією ТИ 229-ПГЛ-О34-109-98 "Производство толстолистовой стали на стане 2250" (Алчевск, 1998 г.), припустиме зусилля прокатки на кліть становить 2600 т.

Як видно з таблиці 1, прокатка перших трьох слябів показала, що зусилля на валки у всіх проходах, крім першого, перевищують припустимі. Окрім того, при спробі скористатися експериментальними даними [2] і залежностями (1–3) отримали значення, що перевищують питомі тиски при холодній прокатці – 70 кг/мм² (таблиця 1).

Дані для стовпців 1- 6 (таблиці 1) взято з роботи [2]. Експериментальні дослідження на Алчевському металургійному комбінаті підтвердили, що існуючі теоретичні методи визначення зусиль при прокатці базуються на не зовсім точному уявленні про характер течі металу у зоні деформації.

Відомо, що при зниженні температури на 20°C (від 1200°C), зусилля на валки, при гарячій прокатці, збільшуються на 10 % [1]. Таким чином, при похибці під час визначення температури на 20°C, що становить 1,67 % (від 1200°C), маємо похибку при визначенні зусиль на валки на межі допустимої в інженерних розрахунках (10%).

Практично, до цього часу, не було змоги встановити характер змін температури у середині штаби, що прокатується. Температуру штаби визначали, в основному, після її перерізу шляхом замірів у виробничних умовах [5,6,7].

Таблиця 1. Тиск штаби на валки у чистовій клітці стана 2250 АМК

Сталь	Ширина листа, м	Сляб, №	Прохід, №	Тиск штаби на валки, Р, т	Температура прокатки, °С	Питомий тиск р, кг/мм ²
65Г	2	1	1	2293		20,87
			2	2868	830	33,01
			3	3273		45,03
			4	3153	825	66,27
			5	3022		92,97
65Г	2	2	1	2293		20,87
			2	2838	915	32,67
			3	2838		39,05
			4	3176	810	66,75
			5	2934		90,27
65Г	2	3	1	2472		22,5
			2	3022	940	34,79
			3	3593		49,43
			4	3455	870	72,61
			5	3552		109,28

Після створення математичних моделей для обчислення теплового стану штаби [8] і розробки пакетів Windows-сумісних програм на мові С++ для їх реалізації, з'явилась можливість визначити температуру по перерізу штаби на стадії проектування технологічного процесу.

На рис.1 поєднанні данні експериментальної роботи [2], присвяченої визначенню тиску штаби на валки чистової кліти стану 2250 АМК, з теоретичними розрахунками температури штаби по перерізу після першого проходу виконаними згідно з математичною моделлю для обчислення теплового стану штаби [8]. Як видно з рис.1, температура поверхні штаб у зоні деформації знижується з 1020°C до 697°C. Температура середини штаби у зоні деформації залишається практично незмінною.

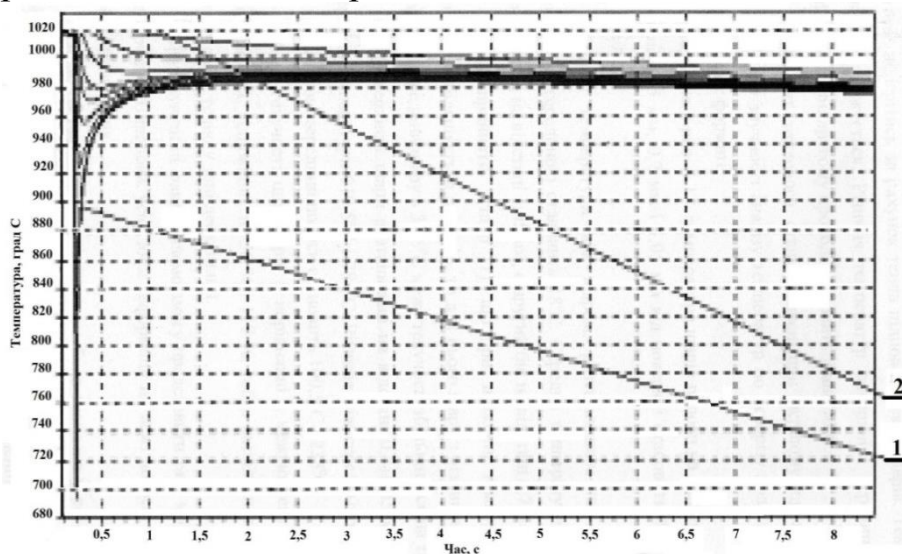


Рис. 1 – Теплове поле штаби при прокатці в чистовій клітці стану 2250 АМК.
1 – температура поверхні штаби; 2 – температура середини штаби.

Після першого проходу в клітці поверхня штаби на ділянці до другого проходу встигає відігрітися за рахунок тепла підповерхневих шарів. Температура середини, навпаки, знижується. Різниця температур поверхні і середини на вході в зону деформації при другому проході становить лише 16°C.

Фрагмент теплового стану штаби на першому проході представлено на рис. 2. для зручності аналізу температур по перерізу штаби в зоні деформації, у збільшеному форматі.

Як видно з рис. 2. температура шарів штаби на виході з зони деформації на відстані 0,35 мм, 0,7 мм і 1,05 мм від поверхні становить 874°C, 965°C і 1002°C, відповідно.

Різниця температури між шаром, розташованим на відстані 1,05 мм від поверхні, і серединою становить 18°C. Середня температура шару, один бік якого знаходиться на відстані 1,05 мм, а другий бік на відстані 0,7 мм становить 983,5°C.

Якщо прийняти, згідно [1], що при зниженні температури на 20°C межа текучості збільшується на 10 %, то для цього шару з різницею температур

середини штаби і середини шару в $36,5^{\circ}\text{C}$ межа текучості збільшиться на 18,2%.

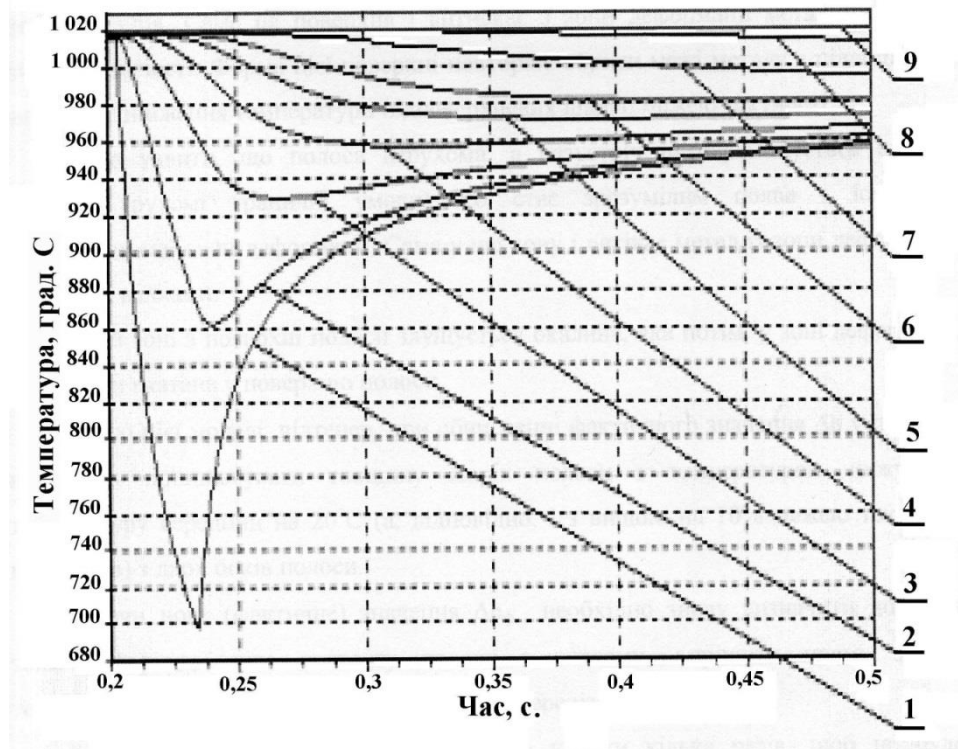


Рис.2 – Фрагмент теплового поля штаби.

- 1) – поверхня; температура на відстані від поверхні штаби: 2) -0,35 мм; 3) – 0,7 мм; 4) – 1,05 мм; 5)- 1,4 мм; 6)-1,8 мм; 7) – 2,9 мм; 8) – 4 мм; 9) – середина штаби.

Підповерхневі шари розташовані на відстані $0,7 \div 0,35$ мм і $0,35 \div 0$ мм мають середні температури $919,5^{\circ}\text{C}$ і 785°C . Різниця між середньою температурою шарів і температурою середини штаби становить $100,5^{\circ}\text{C}$ і 235°C .

Межа текучості цих шарів у порівнянні з межею текучості середини штаби збільшилася, відповідно, на 50 % і 117 %, тобто настільки, що не може навіть бути мови про їх течію у зоні деформації.

Враховуючи ці факти, маємо змогу представити таку модель течії метану в зоні деформації. Впродовж усієї зони деформації на межі штаба – окалина – валок існує зона прилипання.

Це збігається з припущенням, яке було зроблене у роботі [3]. Підповерхневі шари, з межею текучості більшою ніж межа текучості неохолоджених (внутрішніх) шарів штаби, залишаються нерухомими по відношенню до поверхні валків. В зоні деформації, точки на протилежних поверхнях валків переміщуються назустріч одна одній. Відстань між ними зменшується до мінімальної – на лінії, що з'єднує вісі валків. Внаслідок цього метал, що має більшу межу текучості, ніж основна маса штаби, і нерухомий по відношенню до валків, утворює нову поверхню деформування. Саме ця поверхня і витискає з зони деформації метал з меншою межею текучості. Форма цієї поверхні повторює обриси межі металу з підвищеною, внаслідок зниження температури підповерхневих шарів, межею текучості.

Якщо уявити, що штаба нерухома, а назустріч їй переміщується кліть з валками (рухомі граничні умови), то стає зрозумілим поява і існування позаконтактної зони деформації. Саме у цю зону і витікає метал із зони деформації, стиснутої валками.

У цій зоні з поверхні штаби злуцується окалина, яка потім, у зоні деформації, може бути вкатана у поверхню штаби.

Згідно цієї моделі, відтепер, при обчисленні фактичного значення Δh у проході, необхідно приплюсувати товщину шарів штаби з температурою нижче за температуру середини на 20°C (а, відповідно, і з вищою на 10% межею текучості цих шарів) з двох боків штаби.

Маючи нове (фактичне) значення Δh_{ϕ} , необхідно знову визначити довжину зони деформації, час контакту штаби з валками, вирішити пряму задачу теплопровідності і з'ясувати температури по перерізу штаби.

Таким, ітеративним шляхом необхідно пройти кілька разів, щоб не було суттєвої різниці при обчисленні довжини зони деформації.

Таблиця 2 .Оцінка достовірності теоретичного обчислення питомого тиску штаби на валки

Марка сталі	Ширина штаби, м	Сляб, №	Прохід №	Товщина на вході, мм	Товщина на виході, мм	Зусилля прокатки, т	Температура $^{\circ}\text{C}$	Розрахункові зусилля, т	Похибка обчислень %
Ст.3сп	1,8	42	1	24,6	16,6	2536	1010	2427	4,3
			2	16,6	11,8	2828	990	2900	2,5
			3	11,8	8,7	2777	950	2805	1,0
			4	8,7	6,8	2902	935	2810	3,4
			5	6,8	6,0	2159	860	2085	3,4
Ст.3сп	2	53	1	24	16,0	2902	970	3000	3,4
			2	16	10,5	3321	955	3466	4,4
			3	10,5	7,0	3306	910	3337	0,9
			4	7,0	5,8	3176	885	3263	2,7
			5	5,8	5,0	2431	830	2368	2,6
Ст.3Гсп	2	59	1	22	13,5	2702	980	2887	6,8
			2	13,5	9,1	3285	965	3265	0,6
			3	9,1	6,8	3306	920	3264	1,3
			4	6,8	5,6	3080	890	3159	2,6
			5	5,6	5,0	2246	820	2149	4,3
45	1,8	63	1	22,4	13,9	2317	1010	2470	6,6
			2	13,9	9,6	2687	1000	2635	1,9
			3	9,6	7,2	2924	940	2883	1,4
			4	7,2	5,9	2702	930	2673	1,1
			5	5,9	5,0	2046	820	2115	3,4
45	1,8	65	1	22,4	13,9	2363	1020	2397	1,4
			2	13,9	9,6	2745	1000	2635	3,3
			3	9,6	7,2	2903	940	2883	0,7
			4	7,2	5,9	2709	925	2673	1,3
			5	5,9	5,0	2052	840	2085	1,6
Ст.3сп	1,8	66	1	22,4	13,9	2505	1000	2571	2,6
			2	13,9	9,6	2965	980	2811	5,2
			3	9,6	7,2	2934	930	2967	1,1
			4	7,2	5,9	2694	915	2651	1,6
			5	5,9	5,0	2100	840	2085	0,7

У таблиці 2 приведені результати експериментальних досліджень у яких наведено повні данні щодо температури по проходах на відміну до прокатки слябів № 1, 2, 3, а результати експериментальних досліджень тиску штаби на валки порівнюються з розрахунками, що виконані з урахуванням фактичного значення Δh у проходах.

Як видно з таблиці 2, тепер похибка при обчисленні зусиль прокатки не перевищує 6,8%, що припустимо в інженерних розрахунках.

Похибка у 6,6 % має місце при обчисленні тиску штаби на валки при прокатці листа 5x1700x11000 мм із сталі марки Ст.45 (сляб № 63). Швидше за все ця похибка пов'язана з точністю визначення температури під час експериментальної прокатки. Як видно з таблиці 2, при прокатці сталі цієї ж марки і листа таких же розмірів (сляб № 65) похибка обчислення зусиль прокатки становить усього 1,4 %. Перевищення припустимих для стану 2250 АМК зусиль (2600 т) на валки мали місце практично при прокатці всіх слябів. Найбільші зусилля спостерігалися в третьому проході (3306 т) при прокатці слябу № 53. Тільки при прокатці слябів № 42 (перший прохід), №53 і №59 (п'ятий прохід), №63, №65, №66 (перший та п'ятий проходи), тиск штаби на валки був меншим за максимально припустимий (2600т).

Поломки валків і результати експериментальних досліджень на стані 2250 АМК свідчать, що виробники користувалися недостовірними методами обчислення зусиль при прокатці і змушені були експериментально підбирати технологічні режими, ризикуючи створити аварійну ситуацію на стані з поломкою валків або їх підшипників.

Висновки. 1. Використання даних математичної моделі теплового стану штаби при прокатці дозволяє при визначенні зусиль прокатки враховувати реальний розподіл температури по перерізу штаби.

2. Порівняння величини розрахункових зусиль отриманих з урахуванням реального розподілу температури по перерізу при прокатці штаби на стані 2250 Алчевського металургійного комбінату з експериментальними даними показало, що точність визначення зусиль прокатки підвищилась та на перевершувала 6,8%.

Список літератури. 1. Прокатные станы: Справочник / В. Г. Антипин, Д. К. Нестеров, В. Г. Кизиев и др. - М.: Металлургия, 1992. – Т. 3. Листопрокатные станы и профилигибочные агрегаты. – 428 с. 2. Экспериментальное исследование усилий прокатки в чистовой клети стана 2250. Комитет промышленной политики Украины. ОАО Алчевский металлургический комбинат, ЧК НКП "Аверс", УкрНИИмет. Харьков, 2000, 39с. 3. Целиков А. И., Гришков А. И. Теория прокатки. – М.: Металлургия, 1970. – 358 с. 4. ГОСТ 25.504-82. Расчеты и испытания на прочность. – Утвержден и введен в действие 18.05.1982. – М.: Изд-во стандартов. – №12, – 1972. – 81с. 5. Клименко В. М., Вейсбейн А. Д., Минаев А. А. Поле температуры по сечению раската при прокатке // Сталь. – 1978. – № 4. – С. 348-349. 6. Температурное поле металла при прокатке на обжимных станах / В. М. Клименко, А. А. Минаев, А. Д. Вейсбейн и др. // Обработка металлов в горячем состоянии: Труды международного симпозиума. – Острава, 1978. – С. 353-360. 7. Теоретические и экспериментальные исследования влияния неравномерности температурного поля при прокатке высоких полос на усилие деформации / А. Д. Вейсбейн, В. М. Клименко, А. А. Минаев и др. – Донецк, 1981. – Деп. в УкрНИИТИ 30.07.1981, № 2991. 8. Тришевский О. И., Салтавец Н. В. Разработка математической модели теплового состояния полосы при прокатке // Сталь. – 2009. – № 2. – С. 42-49.

Надійшла до редколегії 30 .09. 13 р.

УДК 628.16:621.981.3

Підвищення точності оцінки зусиль на валки від штаби, що прокатується / Тришевський О. І., Салтавець М. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – № 42 (1015). – С. 167-174. Библиогр.: 8 назв.

Изложены результаты исследований по повышению точности определения усилий на валках при прокатке полосы с использованием материалов математической модели прокатки для уточнения распределения температуры по сечению полосы. Проведено сравнение полученных результатов с данными экспериментальных исследований прокатки полосы на стане 2250 Алчевского металлургического комбината.

Ключевые слова: горячая прокатка, полоса, математическая модель, тепловое состояние, распределение фактической температуры, усилие прокатки.

The results of research to improve the accuracy of effort on the rolls during rolling strip using a mathematical model of rolling materials to refine the temperature distribution over the cross section of the strip. The results are compared with those of experimental studies pro-rollers strip mill at 2250 Alchevsk Iron.

Keywords: hot rolling, the strip, a mathematical model, thermal state, distribution of the actual temperature, the rolling force.

УДК 621.73.011:004.932

А. В. ФЕДОСОВ, канд. техн. наук, доц., ГВУЗ «ПДТУ», Мариуполь

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ В ПРОЦЕССАХ ОМД

Рассмотрены современные бесконтактные методы измерений геометрических параметров объектов в процессе их деформации. Представлен новый метод определения полей деформации в поперечном сечении объекта. Новый метод основан на обработке серии фотоснимков, сделанных в процессе деформации объекта. Рассмотрены основы методов бесконтактного измерения плоскостности.

Ключевые слова: обработка металлов давлением, поле деформаций, плоскостность, цифровое изображение, точность измерений

Введение. В настоящее время больше внимания уделяется разработке средств автоматизации для экспериментальных методов исследований. Это позволяет снизить трудоемкость поставленных задач, повысить производительность и точность методов. При этом важно автоматизировать как процессы получения первичных данных, так и их обработку, что позволяет максимально исключить влияние человеческого фактора на результаты измерений. В связи с этим, на сегодняшний день актуальной задачей является разработка полностью автоматизированных методов измерений.

Анализ последних исследований и литературы. Фотография для различных экспериментальных методов ОМД применяются уже достаточно давно [1] и являются источником получения первичных данных об исследуемых процессах. Однако приведение результатов визирования к виду, пригодному для обработки, производится, как правило, вручную [1, 2], что уменьшает эффективность применяемых методов измерений. Высокие темпы развития цифровых технологий позволяют сегодня разрабатывать