

# МЕТОДИКА ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ ПОЛОЖЕНИЕТО НА БАЗИРАЩИТЕ ЕЛЕМЕНТИ ПО МЕТОДА 3-2-1 В SOLIDWORKS

## A METHODOLOGY FOR DEFINING POSITIONS OF THE LOCATING ELEMENTS IN THE 3-2-1 METHOD IN SOLIDWORKS

Проф. Николчева Г., Маг. Инж. Михайлов О.  
Технически университет – София, България

ginic@tu-sofia.bg, omihaylov@tu-sofia.bg

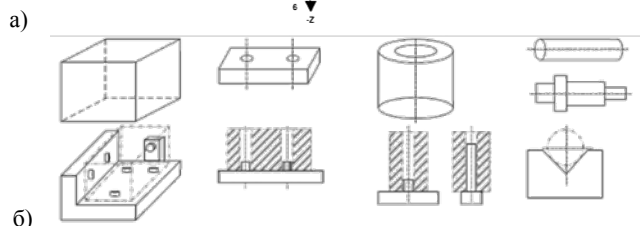
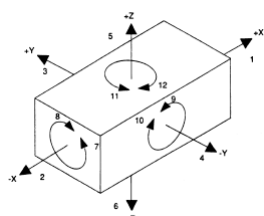
**Abstract:** This paper presents an updated version of a methodology and an application presented by the authors in previous publications. The application is integrated into SolidWorks and it's used to automate the design process of modular fixturing devices. Included in it is a methodology for automated determination of the positions of the locating elements. Both the application and the methodology are using rule-based logic and mathematical formulas.

**Keywords:** FIXTURES, LOCATING, COMPUTER-AIDED FIXTURE DESIGN, SOLIDWORKS, ADD-IN

### 1. Увод.

Времето, прекарано в проектиране и изработване на приспособления в производството, е значителна част от времето за производство на крайните продукти, а разходите, свързани с конструирането и производството на приспособления, възлизат на 10-20% от общата цена на производствената система [1]. Обикновено процесът на проектиране на приспособления се състои в определянето на положенията на притискачите, базиращите и опорните елементи и правилният им избор.

Броят и положението на базиращите елементи трябва да бъдат такива, че на заготовката да ѝ бъдат отнети 6-те степени на свобода по време на обработките (фиг. 1а), например чрез базиране по три равнинни повърхнини (метод 3-2-1), една равнинна повърхнина и два отвора (два щифта – цилиндричен и изрязан), една равнинна повърхнина и един отвор (с дълъг щифт) и по цилиндрична повърхнина (с дълги или къси V-блокове) (фиг. 1б).



Фиг.1. а) Степени на свобода на детайл [2] и б) отнемането им [3].

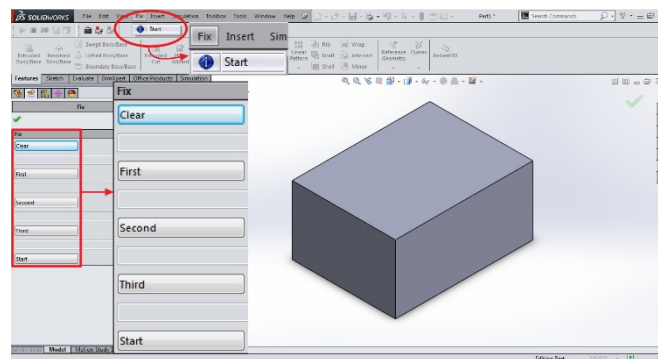
При използване на отделни базиращи елементи (напр. базиращи опори) разположението им трябва да бъде такова, че да се осигури устойчиво положение на заготовката, т.е. тя да не се измества под действието на тежестта си или от силите на затягане. За целта разстоянията между базиращите елементи трябва да бъдат по възможност по-големи [4]. При използването на модулни приспособления с базова плоча с отвори обаче има известна степен на ограничение за тези разстояния. В тези случаи положенията на базиращите елементи трябва да се избират такива, че да изпълняват

изискванията, да следват схемата от отвори, както и формата на детайла.

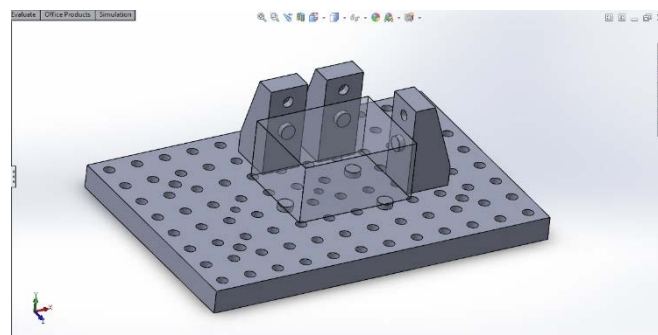
Представената по-долу методика използва правила Ако-Тогава-Иначе и математически формули за да определи разположението на базиращите елементи така, че те да отговорят на всички изисквания.

### 2. Свързани публикации/разработки.

В [5] бе представена основата за приложение, интегрирано в SolidWorks, за базиране на призматично-корпусни и цилиндрични детайли по методите 3-2-1, базиране по два отвора и равнинна повърхнина и по външна цилиндрична повърхнина. Той е създаден с езика VB.NET и с помощта на приложно-програмния интерфейс на SolidWorks като се използват правила от типа АКО-ТОГАВА-ИНАЧЕ (IF-THEN-ELSE).



Фиг.3. Детайл със стартирано приложение.



Фиг.4. Сглобено приспособление с детайл.

Приложението се стартира от бутон в Toolbar менюто при отворен файл тип „PART“. Входните данни се задават от

потребителя чрез избор на повърхнините за базиране и съответния бутон в менюто (фиг.3.). При този избор програмата определя вида на повърхнините и размерите им и изчислява положението на базиращите елементи. С избора на бутона „Start“, потребителят приключва избора си, а приложението извършва финалните изчисления и започва генерирането на приспособлението в нов „ASSEMBLY“ файл, като започва от базовата плоча, поставя нужните елементи на позициите им и завършва с поставяне на детайла. Моделът остава активен за по-нататъшни действия от страна на потребителя (фиг. 4.).

В [6] е разработена основата на методика за определяне на координатите за точките за базиране по метод 3-2-1. При базирането на детайлите е много важно правилното определяне на положението на базиращите елементи. То зависи от множество фактори: форма и размери на повърхнината, цялост на повърхнината (наличие на отвори, канали, стъпала и др.), взаимното положение на повърхнините за базиране, както и от вида и размерите на използваните базиращи елементи.

### 3. Приложение за базиране.

В [6] е представена основната идея за определяне на точките за базиране по главната базираща повърхнина, използваща правила If-Then-Else и математически формули. Тук се представя цялостната методика за базиране по трите повърхнини, в която са добавени допълнителни правила и корекции за разположение на базиращите елементи. Така се намира най-точното и еднозначно решение за разположение на базиращите елементи на приспособлението.

При повърхнини с проста геометрия (квадрат, правоъгълник) определянето на положението може да бъде лесно, но при наличието на повече геометрични форми и елементи (канали, отвори) задачата се усложнява. За да може програмата сама да определи положението на елементите, тя трябва да придобие точна представа за повърхнината, което става чрез нейния избор от потребителя. Когато повърхнината, избрана за базиране, се състои от няколко отделни геометрични форми, разделени от канали и/или други елементи потребителят трябва да избере всички тях, което отнема време и може да доведе до грешки.

За да реши този проблем, приложението използва възможностите на SolidWorks и специфични правила. При избора на повърхнина от потребителя, програмата определя ориентацията ѝ чрез нормалния ѝ вектор и координатите на крайните ѝ точки, и започва проверка на всички останали повърхнини на детайла. Когато намери друга повърхнина със същата ориентация, се проверява дали тя лежи на същата равнина като избраната. Ако бъде открита повърхнина, отговаряща на изискванията, се определят крайните ѝ точки и се добавят към тези на първоначално избраната повърхнина. Процесът продължава докато не бъдат проверени всички повърхнини на детайла. Пример за използваните правила:

*Автоматичен избор на повърхнина. Взимане на данни за нормалния ѝ вектор.*

*АКО този вектор съвпада с вектора на избраната от потребителя повърхнина ТОГАВА;*

*АКО повърхнината лежи на една равнина с избраната от потребителя повърхнина ТОГАВА;*

*Събиране на координатите на крайните ѝ точки.*

**ИНАЧЕ**

*Автоматично избиране на следваща повърхнина;*

**ИНАЧЕ**

*Автоматично избиране на следваща повърхнина.*

Тези и други правила са включени в цикъл, който се изпълнява докато не бъдат проверени всички повърхнини на детайла.

След тези проверки се създава нова скица (Sketch) върху избраната повърхнина. Координатите, събрани от всички повърхнини, се трансформират към локалната координатна система на равнината, в която лежат повърхнините, и определят размерите на базиращата повърхнина като цяло. От всички точки се определят най-голямата и най-малката стойност за всяка ос –  $x_{1\max} x_{1\min} y_{1\max} y_{1\min}$ . Спрямо тези стойности се определя център  $O_1$ :

$$(1) \quad x_{10} = \frac{x_{\max} + x_{\min}}{2}, \quad y_{10} = \frac{y_{\max} + y_{\min}}{2}$$

Спрямо този център ще се разполагат точките за базиране в скицата. Определят се разликите между най-голямата и най-малката стойност за всяка координата и коефициентите  $k$ :

$$(2) \quad \Delta_x = x_{1\max} - x_{1\min}, \quad \Delta_y = y_{1\max} - y_{1\min}$$

$$(3) \quad k_x = \downarrow \left[ \frac{\Delta_x}{0,050} \right], \quad k_y = \downarrow \left[ \frac{\Delta_y}{0,050} \right]$$

Коефициентите  $k$  представляват кратността на разстоянието  $\Delta$  спрямо стъпката между отворите в базовата плоча (50мм) и се закръгляват до цяло, по-малко число<sup>1</sup>. С този коефициент се изчисляват координатите на базиращите опори, а с закръгляването надолу се гарантира, че центъра на опората винаги ще е в границите на крайните точки. Формулите за координатите на трите точки са:

$$(4) \quad \begin{aligned} u_{11} &= u_{12} = u_{10} - k_u * 0,025; \\ u_{13} &= u_{10} + k_u * 0,025; \\ v_{11} &= v_{10} - k_v * 0,025; \\ v_{12} &= v_{10} + k_v * 0,025; \\ v_{13} &= v_{11} + \left( \downarrow \left[ \frac{0,5 * (v_{12} - v_{11})}{0,050} \right] \right) * 0,050. \end{aligned}$$

Стойностите за  $u_{10}$ ,  $k_u$ ,  $v_{10}$  и  $k_v$  се взимат от (2) и (3) в зависимост коя стойност на  $\Delta$  е по-голяма – при  $\Delta_x \geq \Delta_y \rightarrow u = x, v = y$ , при  $\Delta_x < \Delta_y \rightarrow u = y, v = x$ . По същата зависимост се прехвърлят крайните стойности за  $x_{11}, x_{12}, x_{13}, y_{11}, y_{12}$  и  $y_{13}$ . Коефициентите  $k$  се умножават по половината стъпка между отворите в базовата плоча (0,025м), за да се осигури симетрия спрямо точка  $O_1(x_{10}, y_{10})$  съвпадаща със симетрията на отворите на базовата плоча. По осите на базовата плоча няма отвори за базиращи елементи и по тази причина се налага закръгляването надолу във формулата за  $v_3$  – при нечетна стойност на коефициента  $k_v$ , координатата  $v_3$  (без закръгление) попада между отворите.

По така изчислените координати се създават точки, скицата се затваря и започват проверки дали тези точки лежат върху избраната повърхнина или някоя от другите съвпадащи повърхнини (ако има такива). С тези проверки се избягва поставянето на базиращи палци в канали или извън очертанията на детайла. Ако една или повече точки не лежат на някоя от проверяваните повърхнини (фиг.6а) започва нанасянето на различни корекции до получаване на пълно съответствие или до изчерпване на възможностите за корекции.

Корекциите са от различен характер:

- огледално разместване на точките спрямо едната ос (фиг.6б);

- едно- или много-кратно преместване на точките (вкл. т.  $O_1(x_{10}, y_{10})$ ) спрямо едната или двете ос/и на стъпка, равна на част (например 1/4) от свободното пространство от (2) и (3):

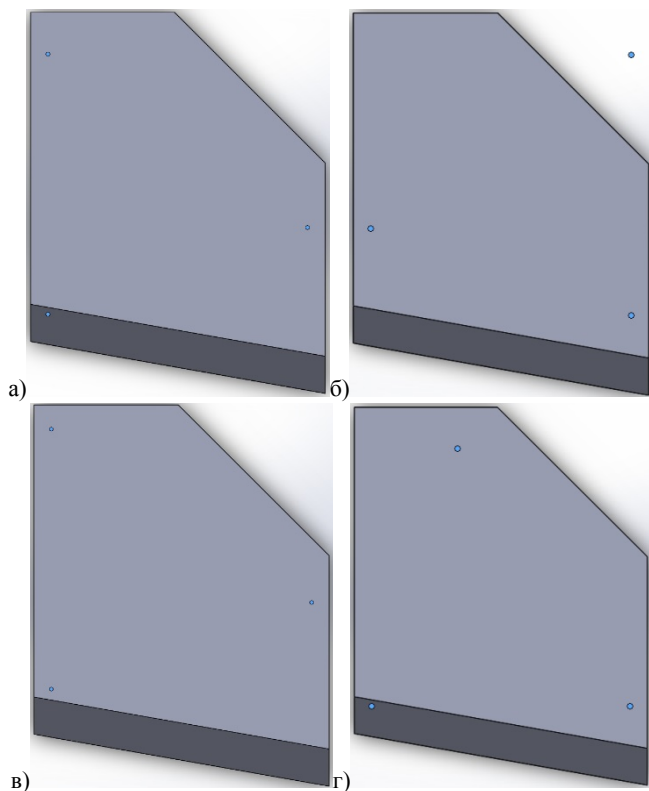
$$(5) \quad \frac{\Delta - (k * 0,050)}{2}, \text{ (фиг.6в);}$$

<sup>1</sup> Операторът  $\downarrow [ ]$  да се чете като „закръгляване към цяло, по-малко число“.

- преизчисляване на координатите с коефициент  $k-1$  с повтаряне до  $k=1$ ;

- размяна на коефициентите  $u$  и  $v$  (фиг.6г).

Корекциите могат да се комбинират по различен начин така, че след една корекция да се изпълняват останалите. Например: след преизчисляване на координатите с  $k-1$  се извършва многократно корекция със стъпково преместване до изчерпване на свободното пространство. След това се извършва преизчисляване с  $k-2$  и отново стъпково преместване до изчерпване на свободното пространство. Разбира се всяка следваща корекция се извършва при условие, че поне една точка не лежи на избрана повърхнина.



Фиг.6. Точките за базиране – а) изчислени координати; б), в), г) след корекции.

Ако всички проверки покажат поне една точка, нележаща на повърхнина, за сега програмата не предлага алтернатива и уведомява потребителя, че избраната повърхнина не е подходяща.

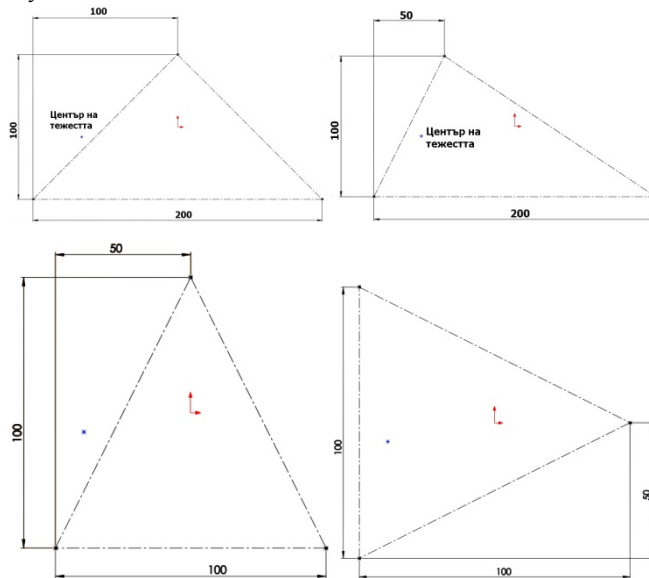
Същите проверки и корекции се извършват и при избор на повърхнина с наличието на отвори, джобове, острови и др. Дали има подобни елементи се определя от програмата без нужда от допълнителни действия от страна на потребителя.

Отново същите проверки и корекции се използват при базиране по стъпаловидни повърхнини (успоредни повърхнини с еднакви нормални вектори, но не лежащи в една равнина), но със създаването на повече от една скица. Избора на такива повърхнини е необходимо да се направи ръчно от потребителя, за да се избегне поставянето на базиращи елементи в глухи отвори и джобове, перпендикулярни на избраната повърхнина.

За базирането по равнини, лежащи в една равнина, или равнини с джобове се използват постоянни базиращи опори, а при стъпаловидни повърхнини – комбинация от постоянни и регулиращи се базиращи опори.

Ако след някоя корекция всички точки лежат върху повърхнината се изпълнява проверка дали проекцията на центъра на тежестта лежи в триъгълника, образуван от трите точки. Ако точката лежи в триъгълника, определянето на

координатите за първите три базиращи палеца приключва успешно. В противен случай се извършва нова серия от корекции и проверки. Корекциите включват преместването на една или две точки на стъпка 50мм (фиг.7), а проверките отново са дали след това всички точки все още лежат на повърхнината. Ако проекцията на центъра на тежестта не лежи върху повърхнината или няма възможност тя да лежи в триъгълника, за сега изборът на повърхнина завършва неуспешно.

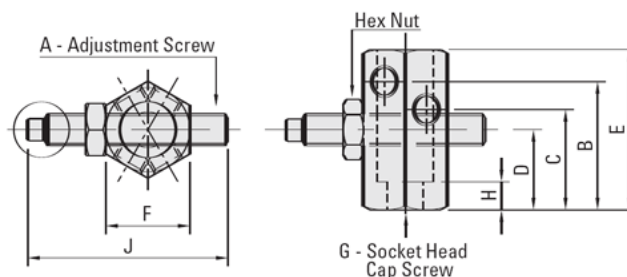


Фиг.7. Преместване на точките за базиране, за да попаде центъра на тежестта между тях.

След успешно избрана първа повърхнина (т.е. всички проверки са преминали успешно) потребителят избира втората повърхнина. При определянето на точките за базиращите елементи по втора и трета базиращи повърхнини  $t.O_1(x_{10}, y_{10})$  се проектира върху тях, за да се гарантира, че симетрията е една и съща за трите повърхнини. Координатите на точките се определят различно от първата повърхнина. По едната координатна ос (успоредна на главната повърхнина) координатите се определят отново от крайните точки на избраната повърхнина, симетрично на проектираната  $t.O_1$ :

$$(6) \quad \begin{aligned} u_{21} &= u_{20} - \left( \downarrow \left[ \frac{u_{2max} - u_{2min}}{0.050} \right] * 0.050 \right) / 2; \\ u_{22} &= u_{20} + \left( \downarrow \left[ \frac{u_{2max} - u_{2min}}{0.050} \right] * 0.050 \right) / 2, \end{aligned}$$

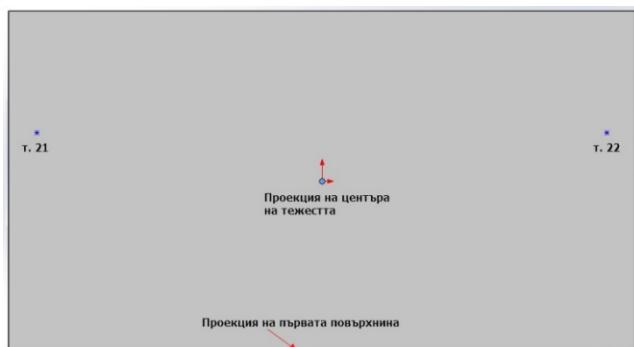
където  $u_{21}, u_{22}$  са координатите на точките за базиране;  $u_{20}$  – координата на проектираната  $t.O_1$ . За втората ос координатите на точките  $v_{21}, v_{22}$  се избират от стойности, отговарящи на височината на отворите на използваните регулируеми стопери (фиг.8) минус височината на главите на базиращите опори.



Фиг.8. Регулируем стопер – винтът А се поставя в отворите на височина В, С или D. [7]

Координатите се определят така, че точката, проекция на центъра на тежестта, да се намира между проекцията на първата повърхнина и точките (фиг.9).

Отново се правят проверки за положението на точките спрямо избраната повърхнина и при нужда се нанасят корекции: огледално разместване на точките, преместване на една или двете точки по една или двете оси. Движението на точките се ограничава от размерите на повърхнината и задължителното условие разстоянието между тях по една ос да бъде кратно на 50мм., а при нужда те могат да минат „под“ центъра на тежестта.



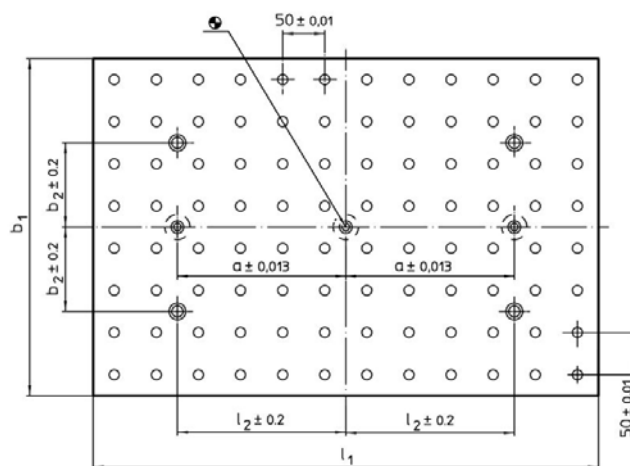
Фиг.9. Положение на точките за базиране по втора повърхнина спрямо проекциите на центъра на тежест и главната базираща.

При определянето на точката върху третата базираща по едната координатна ос (успоредна на главната повърхнина) координатата  $u_{21}$  се определят отново от крайните точки на избраната повърхнина, спрямо проектираната  $t_{01}$ , така, че точката, проекция на центъра на тежестта, да се намира между проекцията на втората повърхнина и точката за базиране (фиг.10). За втората ос координатата на точката  $v_{21}$  се избира както при втората повърхнина – от предварително определените стойности. Правят се същите проверки и корекции както при втората повърхнина.



Фиг.10. Положение на точката за базиране по трета повърхнина спрямо проекциите на центъра на тежест, главната базираща и втора повърхнина.

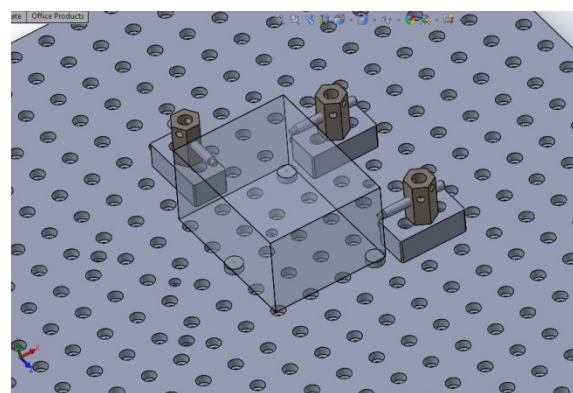
След като всички повърхнини са успешно избрани и координатите на точките, отговарящи на разположението на базиращите елементи, са определени, системата използва трансформационни матрици, за да прехвърли координатите от локалните в глобалната координатна система. След това те се преизчисляват така, че да отговарят на схемата на отворите върху базиращата плоча (фиг.11). Това става автоматично след успешния избор на трета базираща повърхнина и завършва процеса на избор от потребителя.



Фиг.11. Базова плоча [8].

След избора на повърхнини, потребителят може да стартира процеса на създаване на приспособление за базиране с бутон „Start“. При натискането на този бутон, системата създава нов файл от тип „ASSEMBLY“ (.SLDASM) и поставя базиращата плоча. След това започва добавянето и позиционирането на останалите елементи: базиращи опори, детайл, елементи на стоперите, повдигащи елементи (ако са необходими). Размерите на телата на стоперите и повдигащите елементи се определят от избраните стойности за  $v_{21}$ ,  $v_{22}$ ,  $v_{21}$ , а системата поставя съответстващите конфигурации.

Елементите се поставят на определените координати като се създават необходимите връзки (mates) между тях. Системата приключва своите действия като оставя новосъздаденият файл отворен, така че потребителя да може да взаимодейства с него – да го инспектира, да извърши ръчни корекции, да запази файла с избрани от него име и директория.



Фиг.12. Базиран детайл.

#### 4. Изводи.

В работата е представена цялостна методика за определяне позициите на базиращите елементи за модулни приспособления при базиране по три равнинни повърхнини. Тя е основана на математически формули, изведени от колектива и е допълнена с правила If-Then-Else и функции, предлагани от софтуера на SolidWorks. Така се намира еднозначно решение за разположение на базиращите елементи на приспособлението. Методиката е част от система за автоматизиране на процеса за базиране на призматични и цилиндрични детайли в средата на SolidWorks.

Системата позволява по-точно автоматизирано определяне на позициите на базиращите елементи по метода 3-2-1. Тя позволява базиране по повърхнини с различни форми и включващи различни елементи (каналы, джобове, стъпала). Входните данни за работата на системата се подават от

потребителя чрез избор на повърхнини, а тя връща като резултат сглобена единица, включваща детайл и модулни и стандартни елементи с нужните връзки между тях.

#### ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Bi ZM, Zhang WJ. Flexible fixture design and automation: review, issues and future direction. *International Journal of Production Research* 2001; 39(13):2867–94.
- [2] Boyle I, Rong Y., Brown D. C. A review and analysis of current computer-aided fixture design approaches. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 2011; 27:1–12.
- [3] Peng G., Chen G., Wu C., Xin H., Jiang Y. Applying RBR and CBR to develop a VR based integrated system for machining fixture design. *Expert Systems with Applications* 2011; 38: 26–38.
- [4] Недялков А., П. Събчев, Д. Маров, „Технологична екипировка“ Държавно Издателство „Техника“, София, 1987.
- [5] Николчева Г., О. Михайлов, „Приложение за базиране на детайли, интегрирано в SolidWorks“, *Scientific Proceedings Of the Scientific-Technical Union Of Mechanical Engineering, Vol.3, XII International Congress “Machines, Technologies, Materials 2015”*, Varna, Bulgaria, pp. 15-18, 2015.
- [6] Николчева Г., О. Михайлов, „Автоматизиране избора на точки за базиране по метод 3-2-1 с модул за базиране, интегриран в SolidWorks“ , *Scientific Proceedings Of the Scientific-Technical Union Of Mechanical Engineering, Vol.3, XIII International Scientific Congress “Machines, Technologies, Materials 2016 Winter session”*, Borovets, Bulgaria, pp. 72-75, 2016.
- [7] [www.fixtureworks.net](http://www.fixtureworks.net)
- [8] [www.halder.com](http://www.halder.com)