

УДК 672.32:004.422.63  
DOI: 10.15827/0236-235X.131.510-515

Дата подачи статьи: 11.03.20  
2020. Т. 33. № 3. С. 510–515

## **Автоматизация расчета инструмента заключительной вытяжки с утонением цельнотянутых цилиндрических изделий**

*А.И. Сергеев*<sup>1</sup>, д.т.н., доцент, профессор кафедры систем автоматизации производства, alexandr\_sergeew@mail.ru

*А.В. Щеголев*<sup>2</sup>, к.т.н., генеральный директор

*А.И. Сердюк*<sup>1</sup>, д.т.н., профессор, директор Аэрокосмического университета

*М.В. Иванюк*<sup>2</sup>, главный инженер

*А.В. Кузьмин*<sup>2</sup>, зам. главного конструктора

<sup>1</sup> Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, 460018, Россия

<sup>2</sup> Механический завод, г. Орск, 462403, Россия

Современное наукоемкое прессовое производство относится к высокотехнологичной сфере, что обуславливает ряд особенностей, предопределяющих специфику процессов течения металлов при обработке давлением без нагрева. Одним из сложных процессов является глубокая вытяжка с утонением, которая выполняет основную формообразующую операцию преобразования толстостенного цилиндрического полуфабриката типа «стакан» с глухой донной частью в тонкостенный. Допущенные в расчетах ошибки могут проявиться только на заключительной вытяжке с утонением, что приводит к дополнительным трудозатратам на повторное проектирование, изготовление инструмента и производство новой партии изделия. В результате значительно увеличивается себестоимость изделия. Поэтому актуальна автоматизация расчета геометрических параметров инструмента заключительной вытяжки с утонением цельнотянутых цилиндрических изделий.

В статье описаны проблемы проектирования инструмента заключительной вытяжки с утонением при изготовлении цельнотянутых цилиндрических изделий. Приведены три основных типа цельнотянутых цилиндрических изделий с различной внутренней геометрией. Описана разработанная UML-диаграмма деятельности процесса расчета инструмента заключительной вытяжки с утонением. Отмечены особенности расчета профиля пуансона в зависимости от его геометрических параметров и типа осевого сечения, учитывающие пружинение матриц в процессе изготовления изделий, допуск на изготовление и износ матрицы и пуансона, допуск на разностенность, допуск на толщину стенки полуфабрикатов, припуски под механическую обработку.

Приведена экранная форма с результатами расчета инструмента заключительной вытяжки с утонением. Полученные с высокой точностью результаты позволяют минимизировать количество ошибок и являются входными данными для модуля автоматического построения трехмерных моделей и чертежей пуансонов и матриц в системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D посредством использования прикладного программного интерфейса.

**Ключевые слова:** UML-диаграмма деятельности, холодная глубокая вытяжка с утонением, пуансон, матрица, автоматизированное проектирование.

Производство цельнотянутых цилиндрических изделий методом глубокой вытяжки – сложный многооперационный процесс холодной обработки металла давлением, включающий следующие технологические прессовые операции: первая вытяжка без утонения стенки (свертка); несколько последующих вытяжек с утонением стенки, количество которых определяется в зависимости от геометрических параметров изделия; объемная штамповка донной части; прессовка донной части.

Одним из наиболее сложных этапов является вытяжка с утонением – основная формообразующая операция преобразования толсто-

стенного цилиндрического полуфабриката типа «стакан» с глухой донной частью в тонкостенный [1, 2]. В процессе многооперационного формообразования производится промежуточный отжиг, снимающий напряжение и упрочнение металла, возникающие на промежуточных вытяжках в результате деформации. Заключительная вытяжка с утонением выполняет окончательное формообразование и придает изделию требуемые механические свойства.

Высокие требования к цельнотянутым цилиндрическим изделиям обуславливают большое количество вариантов расчета вытяжного

инструмента. Применение при его проектировании универсальных CAD-систем позволяет автоматизировать подготовку электронной конструкторской документации уже по выполненным вручную расчетам. Сложность и слабая формализация процессов обработки металлов давлением не позволяют полностью исключить участие человека в процессе автоматизированного проектирования [3]. Существующие методики расчета технологических параметров процесса зачастую неполные, а количество экспериментальных исследований недостаточно для внедрения вытяжки с утонением стенки по внутреннему контуру в производство высокоточных деталей [4].

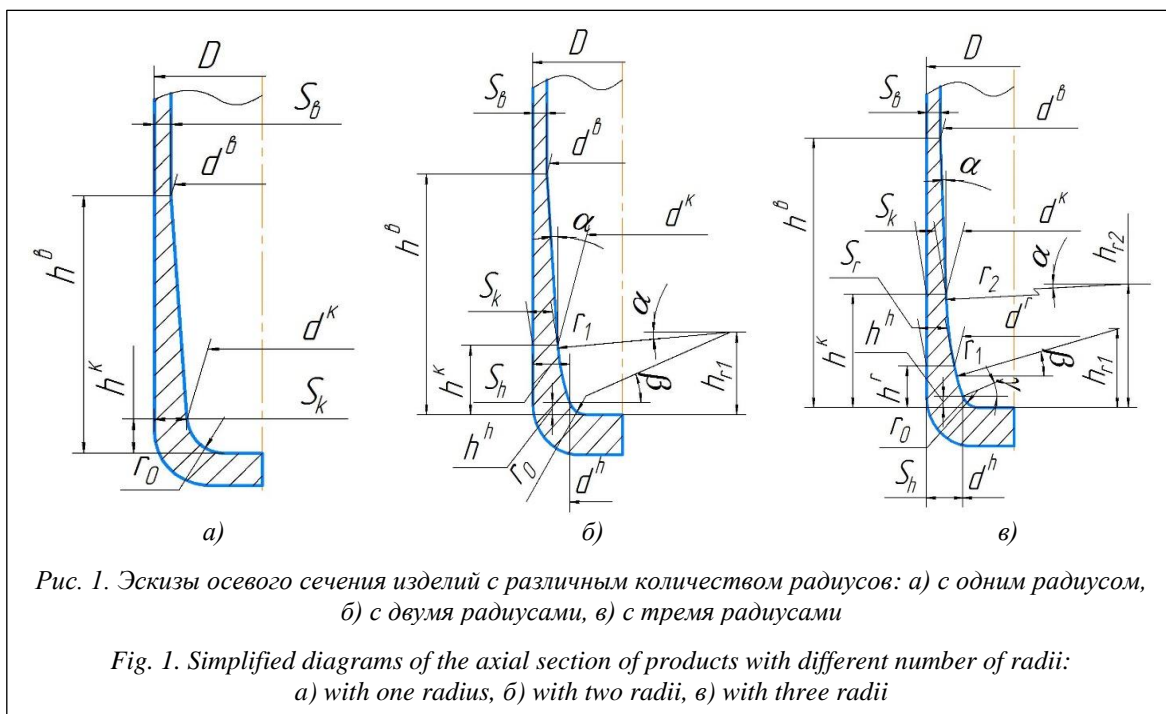
В доступных для анализа зарубежных публикациях приводятся исследования уже спроектированного штампового инструмента средствами систем конечно-элементного анализа, но не раскрывается процесс проектирования формы инструмента [5–7]. Геометрия штампового инструмента корректируется по результатам вычислительных экспериментов, что является нормальной общемировой практикой. Формообразование инструмента выполняется на основании готового изделия с учетом припусков, пружинения и других параметров. В процессах многооперационной глубокой вытяжки с утонением это утверждение справедливо только для заключительной операции. Допущенные в расчетах ошибки могут проявиться лишь на заключительной вытяжке с

утонением, что приводит к дополнительным трудозатратам на повторное проектирование, изготовление инструмента и производство новой партии изделия. Поэтому автоматизация расчета параметров инструмента заключительной вытяжки с утонением цельнотянутых цилиндрических изделий является актуальной.

Размеры матрицы и пуансона заключительной вытяжки с утонением определяются исходя из геометрии изделия. В зависимости от требований, предъявляемых к изделию, его внутренняя часть может формироваться с помощью одного, двух или трех радиусов (рис. 1).

Для автоматизации расчета размеров вытяжного инструмента заключительной вытяжки с утонением разработана UML-диаграмма деятельности [8], представленная на рисунке 2. Расчет инструмента заключительной вытяжки с утонением начинается при выполнении предусловия получения всех исходных данных из файла проекта в формате \*.xml. После установки начальных состояний переменных и генерации необходимых экземпляров объектов запускается процедура подключения к БД.

В БД хранятся зависимости механических свойств материалов, в частности, предела прочности, от степени деформации. На основе полученной информации в дальнейших расчетах определяется наличие операций закалки и низкотемпературного отжига на предпоследней вытяжке с утонением, а также проверяется



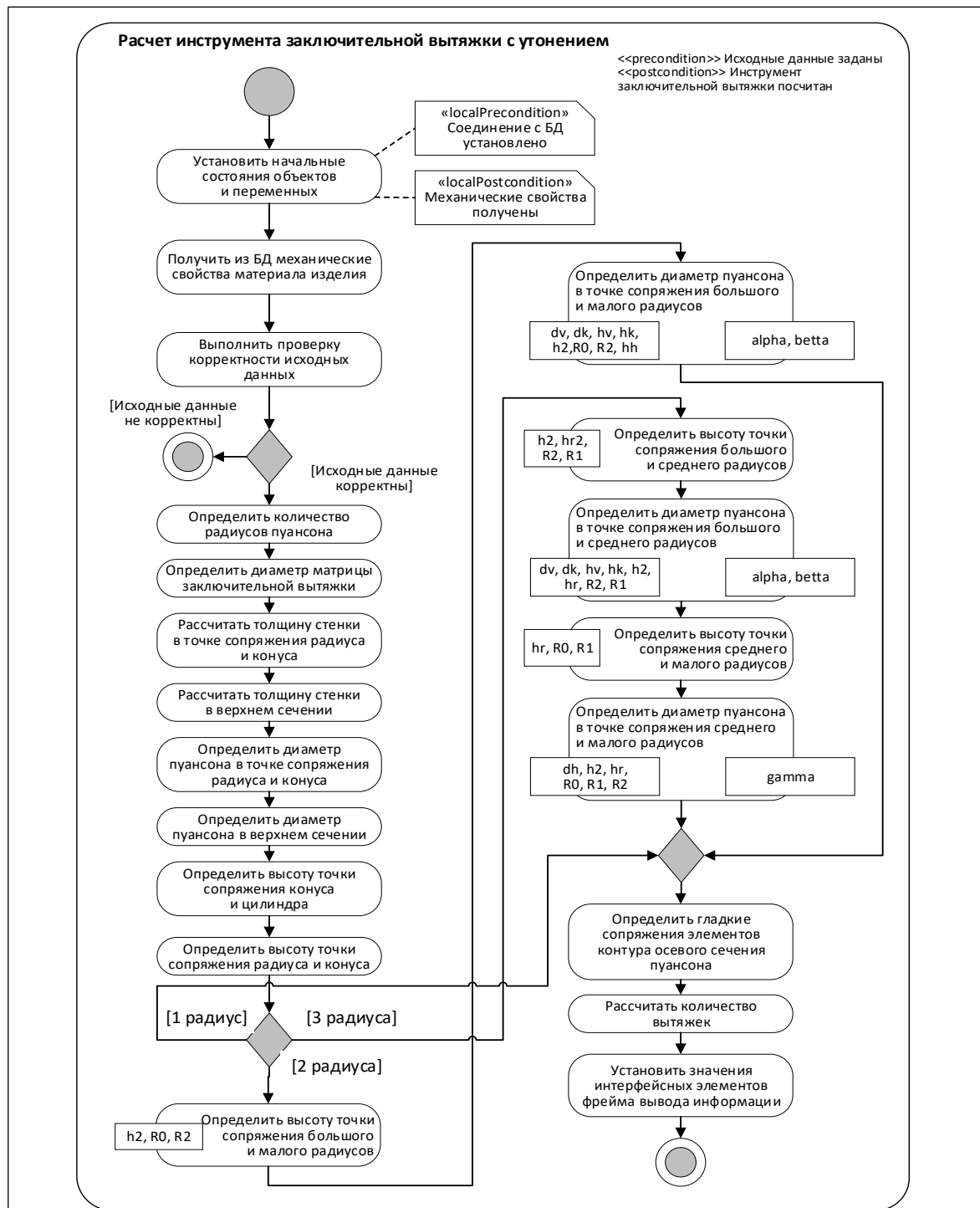


Рис. 2. UML-диаграмма деятельности расчета инструмента заключительной вытяжки с утонением

Fig. 2. UML diagram for calculating the final drawing tool with thinning out

соответствие получаемых механических свойств заданным по чертежу. Проверка исходных данных заключается в анализе соответствия параметров, введенных пользователем, размерам изделия. В случае обнаружения не-

корректных данных пользователю выдается сообщение об ошибке и процедура завершается.

Зная наружный диаметр изделия, задаваемый чертежом, можно определить диаметр рабочей части матрицы заключительной вы-

тяги с утонением ( $D$ ). Так как матрица при работе испытывает значительные растягивающие напряжения, в процессе вытяжки ее рабочий диаметр увеличивается за счет пружинения. Поэтому при определении диаметра матрицы заключительной вытяжки с утонением необходимо учитывать коэффициент пружинения, зависящий от материала изделия. При известном диаметре матрицы определяются размеры пуансона заключительной вытяжки с утонением в различных сечениях в зависимости от количества радиусов как разница между диаметром матрицы и толщиной стенки в заданном сечении. При расчете размеров пуансона учитываются суммарный допуск на изготовление и износ матрицы и пуансона, допуск на разностенность, величина пружинения матриц, допуск на толщину стенки, припуски под механическую обработку.

Высоты точки сопряжения конуса и цилиндра и точки сопряжения радиуса с конусом для пуансона с одним радиусом определяются на основе данных чертежа и тригонометрических зависимостей.

Для пуансона с двумя и тремя радиусами количество точек сопряжения увеличивается и расчет их выполняется по схожим алгоритмам, но по различным исходным данным. Обозначения входных данных на диаграмме деятельности соответствуют обозначениям на рисунке 1 (в мм):  $hr1$  – высота центра среднего радиуса;  $hr2$  – высота центра большого радиуса;  $r0, r1, r2$  – малый, средний и большой радиусы ( $r0$  также является высотой центра малого радиуса, поэтому отдельное обозначение для этой величины не вводится);  $dv$  – диаметр цилиндрической части пуансона;  $dk$  – диаметр пуансона в точке сопряжения конуса с радиусом;  $dr$  – диаметр пуансона в точке сопряжения большого радиуса со средним радиусом;  $dh$  – диаметр пуансона в точке сопряжения малого радиуса со средним или с большим радиусом;  $hk$  – высота точки сопряжения конуса с радиусом;  $hr$  – высота точки сопряжения большого радиуса со средним радиусом;  $hh$  – высота точки сопряжения малого радиуса со средним или с большим радиусом;  $alpha, betta, gamma$  – углы между центрами большого, среднего и малого радиусов и соответствующими точками сопряжений.

Определение гладких сопряжений элементов контура предполагает получение полного объема данных с достаточной точностью для программного построения трехмерных моделей пуансонов [9, 10]. Разработанное матема-

тическое обеспечение, описанное в работе [10], позволяет полностью исключить этап подбора геометрии пуансона вручную на основе расчетных данных.

Расчет количества вытяжек определяется с учетом площади поперечного сечения полуфабриката вытяжки (свертки) вверху, площади поперечного сечения полуфабриката предпоследней вытяжки с утонением вверху и средней операционной степени деформации.

Заключительным этапом является вывод данных для пользователя на экран в соответствии с рисунком 3.

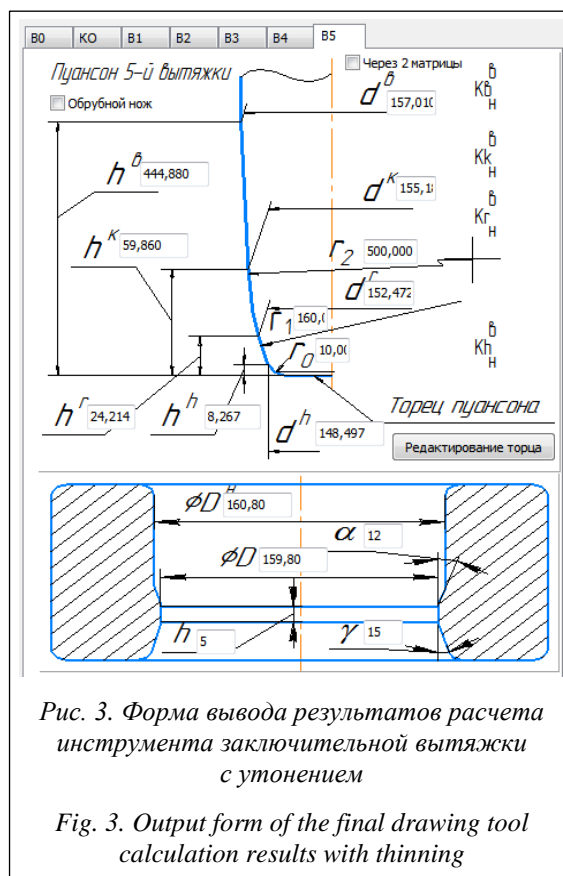


Рис. 3. Форма вывода результатов расчета инструмента заключительной вытяжки с утонением

Fig. 3. Output form of the final drawing tool calculation results with thinning

**Заключение.** Результаты проектирования инструмента заключительной вытяжки с утонением оказывают определяющее влияние на расчет промежуточных вытяжек с утонением и вытяжки (свертки). Программа, разработанная на основе предложенной диаграммы деятельности, позволяет минимизировать количество ошибок расчета. Полученные с высокой точностью результаты расчета являются входными данными для модуля автоматического построения трехмерных моделей и чертежей пуансонов и матриц в системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D путем использования прикладного программного интер-

фейса. Полученные трехмерные модели инструмента предлагается проверить перед изготовлением опытной партии в системе модели-

рования процессов обработки металлов давлением, в том числе и для настройки технологических параметров изготовления.

### Литература

1. Овечкина Ю.И., Овечкин М.В., Сергеев А.И., Шерстобитова В.Н., Щеголев А.В. Отличительные особенности методов холодного выдавливания металлов // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии: матер. VIII Всеросс. науч.-практич. конф. Оренбург, 2017. С. 109–111.
2. Лысов В.А., Абрамова Н.Б., Янё В.С., Шевченко О.В., Щеголев А.В. Автоматизация профилирования осевых сечений пуансонов гладкой совокупностью дуг кривых третьего порядка в технологических процессах глубокой вытяжки // ОКНТПР. 2013. № 4. С. 31–39.
3. Канюков С.И., Коновалов А.В., Муйземнек О.Ю. Входной язык системы автоматизированного проектирования поковок типа валов // Программные продукты и системы. 2018. № 3. С. 614–619. DOI: 10.15827/0236-235X.123.614-619.
4. Лобов В.А., Затеруха Е.В. Методика проектирования процесса вытяжки с утонением стенки по внутреннему контуру в производстве полых фланцевых изделий // Изв. ТулГУ. Технич. науки. 2019. № 5. С. 222–228.
5. Chiorescu D., Chiorescu E., Nagit G., Olaru S.C. The study of the radius of connection of the die for deep drawing using analysis with finite element. MSF, 2019, vol. 957, pp. 103–110. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.957.103.
6. Lee H.Y., Park J.Y. A study on the punch shape for improving tool life in shearing AHSS. IOP Conf. MSE, 2018, vol. 418, iss. 1, pp. 103–110. DOI: 10.1088/1757-899X/418/1/012063.
7. Nasulea D., Oancea G. Research on manufacturing of pyramidal frustum parts using single point incremental forming process. IOP Conf. MSE, 2019, vol. 564, iss. 1, 8 p.
8. Арлоу Д., Нейштадт И. UML 2 и унифицированный процесс. Практический объектно-ориентированный анализ и проектирование; [пер. с англ.]. СПб: Символ-Плюс, 2007. 624 с.
9. Прусаков М.А., Бушуев С.В. Расчет профиля пуансона для глубокой вытяжки тонкостенной полусферы // Вестн. МГТУ «Станкин». 2015. № 2. С. 50–55.
10. Shchegolev A.V., Sergeev A.I., Rusyaev A.S., Sherstobitova V.N. Automated shaping of punches for deep extrusion with thinning. Russian Eng. Research, 2018, vol. 38, no. 5, pp. 387–389. DOI: 10.3103/S1068798X18050167.

Software & Systems  
DOI: 10.15827/0236-235X.131.510-515

Received 11.03.20  
2020, vol. 33, no. 3, pp. 510–515

### Automation of calculation of the tool of final drawing with thinning of whole-drawn cylindrical products

*A.I. Sergeev*<sup>1</sup>, *Dr.Sc. (Engineering), Associate Professor, Professor of the Production Automation Systems Department, alexandr\_sergeew@mail.ru*

*A.V. Shchegolev*<sup>2</sup>, *Ph.D. (Engineering), Director General*

*A.I. Serdyuk*<sup>2</sup>, *Dr.Sc. (Engineering), Professor, Director of the Aerospace University*

*M.V. Ivanyuk*<sup>2</sup>, *Chief Engineer*

*A.V. Kuzmin*<sup>2</sup>, *Deputy Chief Designer*

<sup>1</sup> *Orenburg State University, Orenburg, 460018, Russian Federation*

<sup>2</sup> *Mechanical plant, Orsk, 462403, Russian Federation*

**Abstract.** Modern high-tech press production refers to the high-tech area, which causes a number of features that determine the specifics of the processes of metal flow in the processing of pressure without heating. One of the complex processes is a deep drawing with thinning, which performs the basic forming operation of converting a thick-walled cylindrical semi-finished product of the "cup" type with a blind bottom part into a thin-walled one. Errors in the calculations can occur only on the final drawing with thinning, which leads to additional labor costs for re-design, tool manufacturing, and production of a new batch of products. As a result, the cost of the product is significantly increased. Based on the stated automation of calculation of tool geometrical parameters of the final drawing with thinning of the whole-drawn cylindrical products is actual.

The paper describes the design problems of the final drawing tool with thinning in the manufacture of whole-drawn cylindrical products. The authors present three main types of whole-drawn cylindrical products with different internal geometry. The paper describes the developed UML diagram of the process of calculating the final drawing tool with thinning. The features of calculating the punch profile, depending on its geometrical parameters and the type of the axial section, taking into account the spring-back of matrices in the process of manufacturing products, the manufacturing tolerance and wear of the matrix and punch, the tolerance on different-wall, the tolerance on the wall thickness of semi-finished products, the allowance under mechanical processing.

The authors give the screen form with the output of the calculation results of the final drawing tool with thinning. The calculation results obtained with high accuracy allow us to minimize the number of errors and they are the input data for the module of automatic construction of three-dimensional models and drawings of punches and matrices in the computer-aided design COMPASS-3D through the use of an application software interface.

**Keywords:** UML activity diagram, cold deep drawing with thinning, punch, matrix, computer-aided design.

### References

1. Ovechkina Yu.I., Ovechkin M.V., Sergeev A.I., Sherstobitova V.N., Shchegolev A.V. Distinctive features of methods of cold drawing of metals. *Proc. VIII All-Russ. Sci.-Prakt. Conf. Computer Integration of Production and CALS-Technology*, Orenburg, 2017, pp. 109–111.
2. Lysov V.A., Abramova N.B., Yanyo V.S., Shevchenko O.V., Schegolev A.V. The automation by smooth totality of tertiary's arcs of curve in deep drawings workflows. *DIARSTP*, 2013, no. 4, pp. 31–39 (in Russ.).
3. Kanyukov S.I., Konovalov A.V., Muizemnek O.Yu. Input language of a computer-aided system for shaft forging. *Software & Systems*, 2018, no. 3, pp. 614–619 (in Russ.). DOI: 10.15827/0236-235X.123.614-619.
4. Lobov V.A., Zaterukha E.V. The technique of designing the drawing process with wall thinning on the inner contour in the production of hollow flange products. *Bull. TulsU. Tech. Sci.*, 2019, no. 5, pp. 222–228 (in Russ.).
5. Chiorescu D., Chiorescu E., Nagit G., Olaru S.C. The study of the radius of connection of the die for deep drawing using analysis with finite element. *MSF*, 2019, vol. 957, pp. 103–110. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.957.103.
6. Lee H.Y., Park J.Y. A study on the punch shape for improving tool life in shearing AHSS. *IOP Conf. MSE*, 2018, vol. 418, iss. 1, pp. 103–110. DOI: 10.1088/1757-899X/418/1/012063.
7. Nasulea D., Oancea G. Research on manufacturing of pyramidal frustum parts using single point incremental forming process. *IOP Conf. MSE*, 2019, vol. 564, iss. 1, 8 p.
8. Arlow J., Neustadt I. *UML 2 and Unified Process. Practical Object Oriented Analysis and Design*. Addison-Wesley Publ., 2005, 624 p. (Russ. ed.: St. Petersburg, 2007, 624 p.).
9. Prusakov M.A., Bushuev S.V. Calculation of punch profile for deep drawing of thin-walled hemisphere. *Bull. MSTU "Stankin"*, 2015, no. 2, pp. 50–55 (in Russ.).
10. Shchegolev A.V., Sergeev A.I., Rusyaev A.S., Sherstobitova V.N. Automated shaping of punches for deep extrusion with thinning. *Russian Eng. Research*, 2018, vol. 38, no. 5, pp. 387–389. DOI: 10.3103/S1068798X18050167.

### Для цитирования

Сергеев А.И., Щеголев А.В., Сердюк А.И., Иванюк М.В., Кузьмин А.В. Автоматизация расчета инструмента заключительной вытяжки с утонением цельнотянутых цилиндрических изделий // Программные продукты и системы. 2020. Т. 33. № 3. С. 510–515. DOI: 10.15827/0236-235X.131.510-515.

### For citation

Sergeev A.I., Shchegolev A.V., Serdyuk A.I., Ivanyuk M.V., Kuzmin A.V. Automation of calculation of the tool of final drawing with thinning of whole-drawn cylindrical products. *Software & Systems*, 2020, vol. 33, no. 3, pp. 510–515 (in Russ.). DOI: 10.15827/0236-235X.131.510-515.