

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ МЕТАЛЛОПРОКАТА ДЛЯ МАЛЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА

О.Н. Гринюк, О.В. Алексашина, О.Ф. Вячеславова, Н.В. Маслова

*В статье представлена классификация технологических операций производства изделий из металлопроката, дана краткая характеристика основных разделительных, формоизменяющих и штамповочных операций. Разработан программный комплекс, позволяющий пользователю эффективно производить расчеты различных этапов и стадий изготовления изделий из металлопроката: эффективности использования металла, формообразующих операций, складкообразования (гофры) при вытяжке, а также расчеты для гибочных операций и энергосиловых характеристик.*

**Ключевые слова:** производство изделий из металлопроката, технология производства металлоконструкций, программный комплекс, контроль качества металлических конструкций, эффективность использования металла, обработка металла.

## INCREASE OF EFFICIENCY OF TECHNOLOGICAL OPERATIONS DURING THE METAL PRODUCT MANUFACTURING FOR SMALL INTERPRISES ON THE BASE OF SPECIAL SOFTWARE

O.N. Grinyuk, O.V. Aleksashina, O.F. Vyacheslavova, N.V. Maslova

*In the article there are presented the classification of technological operations of production of steel products, a short description of the basic shearing, shaping and stamping assembly operations. The developed software package allows the user to design various stages of metal products manufacturing, such as efficiency of metal usage, shaping operations, bucking at an extract. Also it enables the calculations for bending operations and energy-power characteristics.*

**Keywords:** production of metal products, technique of metal constructions manufacturing, software, quality control of metal structures, efficient use of metal, metal processing.

### Введение

Без изделий из металла сегодня не обходится ни одна отрасль производства. Продукты металлообработки используются во всех сферах жизни – от промышленности до дачного хозяйства. Универсальность применения металлопроката сформировала широкий спектр различных способов обработки металла.

Технологические процессы производства изделий из металлопроката можно разделить на операции, поочередное применение которых позволяет придать исходной плоской заготовке заданные форму и размеры детали. В основе критериев деления технологических процессов

на операции принимаются такие, как характер формоизменения, схема напряженного состояния и назначение операции.

Все операции производства изделий из металлопроката можно условно разделить на четыре группы: разделительные, формоизменяющие, штамповочные, операции, производные от основных.

К разделительным операциям, связанным с отделением одной части металла от другой по замкнутому или незамкнутому контуру, относятся отрезка, вырубка, пробивка, надрезка, разрезка, обрезка, зачистка, чистовая вырубка и просечка. К формоизменяющим операциям,

в процессе которых плоская или полая заготовка превращается в пространственную деталь требуемой формы без изменения толщины материала, относятся гибка, вытяжка, рельефная формовка, отбортовка, обжим, раздача и др. К штамповочным операциям, которые предназначаются для соединения нескольких деталей в одно изделие, относятся запрессовка, клепка, закатка, холодная пластическая сварка. Кроме перечисленных операций, в производстве изделий из металлопроката применяются вспомогательные и отделочные операции: вытяжка с утонением, вытяжка комбинированная, вытяжка ротационная, чистовая вырубка-пробивка.

При разработке технологического процесса изготовления детали необходимо стремиться к выбору из многочисленных вариантов расчета наиболее экономичного в соответствии с чертежом, программой и техническими условиями.

Однако вручную произвести такие расчеты очень трудоемко, поэтому для автоматизации технологических расчетов применяется различное программное обеспечение: Астра Раскрой 4.2, ИНТЕХ-РАСКРОЙ (программа для ЧПУ раскроя металла), семейство программ *Cutting*, *Crude 1.0.0*, *APM WinMachine 9.0*, программа *KONCUT*, *OPTIMIZE 2.2*, калькулятор металлста 4.5D, САПР раскроя листового материала «Винтех *RCAM*», калькулятор металлопроката, расчет нормовремени станочных работ, *Microsoft Excel*, *Техтран* [1]. Однако данные программные продукты зачастую либо узко специализированы, т.е. предназначены для автоматизации расчетов какого-то одного этапа производства, либо обладают избыточным интерфейсом и слишком высокой стоимостью, доступной только для крупных предприятий по производству изделий из металлопроката.

Цель данной работы состоит в разработке программного комплекса, позволяющего автоматизировать технологический расчет этапов и стадий определенного процесса по производству изделий из металлопроката, обеспечить эффективность проведения операций и использования металла.

### **Стандарты производства**

Производство металлоконструкций регламентируется принятыми стандартами, призванными обеспечить качество и надежность выпускаемых заводом металлоконструкций изделий. Производство металлических конструк-

ций, если это стандартные изделия, начинается с приемки проката. Если же речь идет о нестандартных металлоконструкциях, то их производство начинается с проектирования. Проектирование металлоконструкций ведется в соответствии с ГОСТ 21.502-2007 и стандартами ЕСКД. Производство металлоконструкций всех типов как таковое осуществляется согласно ГОСТ 23118-2012 «Конструкции стальные строительные. Общие технические условия» (взамен ГОСТ 23118-99). Этот документ регламентирует все этапы производства, начиная с приемки сортопроката. Так, материалы, применяемые при производстве металлоконструкций конкретных видов, должны выбираться на основании СНиП II-23 (в соответствии с этим же документом производится сварка конструкций). Также входной контроль материалов и комплектующих должен проводиться в соответствии с ГОСТ 24297-2013. При производстве металлоконструкций большое внимание уделяется точности выполнения их элементов, которая регулируется ГОСТ 21778-81, ГОСТ 21779-82, ГОСТ 21780-2006 – в зависимости от необходимого уровня собираемости конструкции, технологических возможностей предприятия и ряда других условий. Способ образования отверстий, точность их изготовления, а также применимость тех или иных болтовых соединений регламентированы различными стандартами, СНиП II-23 и проектной документацией. Процесс производства металлических конструкций включает антикоррозийную защиту, которая должна производиться по СП 28.13330.2012, при этом обезжиривание перед нанесением покрытия осуществляют согласно ГОСТ 9.402-2004 [2].

Производство металлоконструкций – многоступенчатый процесс, на каждом этапе которого должен проводиться операционный контроль согласно ГОСТ 15.005-86. Этап маркировки при производстве металлоконструкций ведется согласно ГОСТ 2.314-68, ГОСТ 25726-83, ГОСТ 14192 -96 (эти стандарты регулируют способ маркировки, место на изделии, размер шрифта, обозначения и т.д.).

После того, как изготовление металлической конструкции подошло к своему логическому завершению, проводится последний контроль качества – приемочный, в соответствии с основным нормативным документом.

Помимо процесса производства металлоконструкций, также нормируются их хранение, пе-

ревозка (ГОСТ 12.3.009-2008, ГОСТ 15150-69, ГОСТ 22235-2010). На каждую партию изделий или на сооружаемое здание должен выдаваться документ о качестве.

### Методика расчетов

Важным условием для построения новых технологических процессов является выбор технологического оборудования. От того, насколько правильно будут выполнены расчеты технологических и вспомогательных условий выполнения операций, определено суммарное усилие и, наконец, осуществлены мероприятия по выбору прессового оборудования, зависит рациональность технологического процесса, дающего минимальные трудоемкость и себестоимость изготовления заданных деталей при наилучшем их качестве [3].

Определяя, например, рациональность той или иной схемы раскроя, необходимо учитывать не только ее экономичность. Раскрой должен обеспечить высокое качество деталей, высокую производительность (низкую трудоемкость), простоту конструкции штампа и высокую стойкость его рабочих частей, а также удобство и безопасность работы. Даже для одной технологической операции необходимо многократно рассчитывать целый ряд технологических параметров и определять их влияние на эффективность и качество изготовления детали в комплексе.

Например, согласно ГОСТ 18970-84, мерой эффективности раскроя – плотности размещения заготовок – служит коэффициент использования металла (КИМ):

$$K_{И} = \frac{M_{Д}}{H}, \quad (1)$$

$$H = \frac{M}{n_{Д}H}, \quad (2)$$

где  $M_{Д}$  – масса детали, кг;  $H$  – норма расхода материала на одну деталь;  $M$  – масса листа (рулона, фрагмента ленты), применяемого для штамповки, кг;  $n_{Д}$  – число деталей, полученных в результате раскроя материала, шт.

Кроме коэффициента использования материала, в технологических расчетах используют показатель эффективности раскроя – коэффициент раскроя  $\eta_p$ , определяемый по формуле:

$$- \text{ для полосы } \eta_p = \frac{F_{Д}}{Bt}, \quad (3)$$

$$- \text{ для листа, ленты, рулона } \eta_p = \frac{F_{Д}n}{BL}, \quad (4)$$

где  $F_{Д}$  – площадь вырубаемой заготовки, мм<sup>2</sup>;  $n$  – количество деталей из листа, шт.;  $B$  – ширина полосы (листа, рулона, ленты), мм;  $t$  – шаг подачи материала при штамповке, мм;  $L$  – длина листа (рулона, ленты), мм.

Если коэффициент раскроя  $\eta_p$  зависит только от формы внешнего контура деталей и их взаимного расположения, то коэффициент использования металла  $K_{И}$ , кроме указанных факторов, зависит еще и от наличия в детали отверстий.

Необходимые технологические расчеты выполняются для каждой операции. Разработка технологической документации осуществляется в той последовательности, которая определяется технологическим процессом изготовления детали (например, резка на ножницах, вырубка заготовки, вытяжка или гибка детали в одну или несколько операций, пробивка отверстий, обрезка детали по наружному контуру и т.д.).

При разработке разделительных операций (например, вырубка, пробивка) необходимо выполнить следующие технологические расчеты [1]:

- определить размеры полосы (ширину), из которой будет вырубаться заготовка;
- выбрать размеры листа и его раскрой на полосы;
- рассчитать усилие резки при раскрое листа на ножницах;
- рассчитать усилие вырубки (пробивки отверстий), съема и проталкивания (выталкивания) детали и отхода;
- вычислить (определить) зазоры между рабочими элементами матрицы и пуансона.

Для гибочных операций необходимо:

- определить размеры плоской заготовки;
- определить количество и последовательность выполнения операций гибки;
- рассчитать усилие гибки, прижима (выталкивания) детали;
- вычислить минимально допустимые радиусы гибки;
- определить углы пружинения (для каждой операции);
- рассчитать зазоры между матрицей и пуансоном.

### Возможности разработанного программного комплекса

На основе представленной классификации технологических операций, этапов и стадий изготовления изделий из металлопроката, ха-

рактических основных разделительных, формоизменяющих и штамповочных операций разработан программный комплекс, который позволил автоматизировать технологические расчеты малого предприятия (с учетом особенностей такого типа предприятий) по производству изделий из металлопроката, уменьшить затраты времени на подготовку к выполнению стадий производства, снизить риск повреждения дорогостоящего оборудования ввиду применения неточных настроечных данных [4]. Кроме того, разработанный программный

комплекс обеспечил пользователя возможностью производить расчеты различных этапов и стадий изготовления изделий из металлопроката, эффективности использования металла, формообразующих операций, складкообразования (гофры) при вытяжке, а также расчеты для гибочных операций и энергосиловых характеристик.

Программа выполнена в виде удобного пользовательского приложения с визуализацией главного «меню» и выводом на монитор результатов расчета (рис. 1, 2).

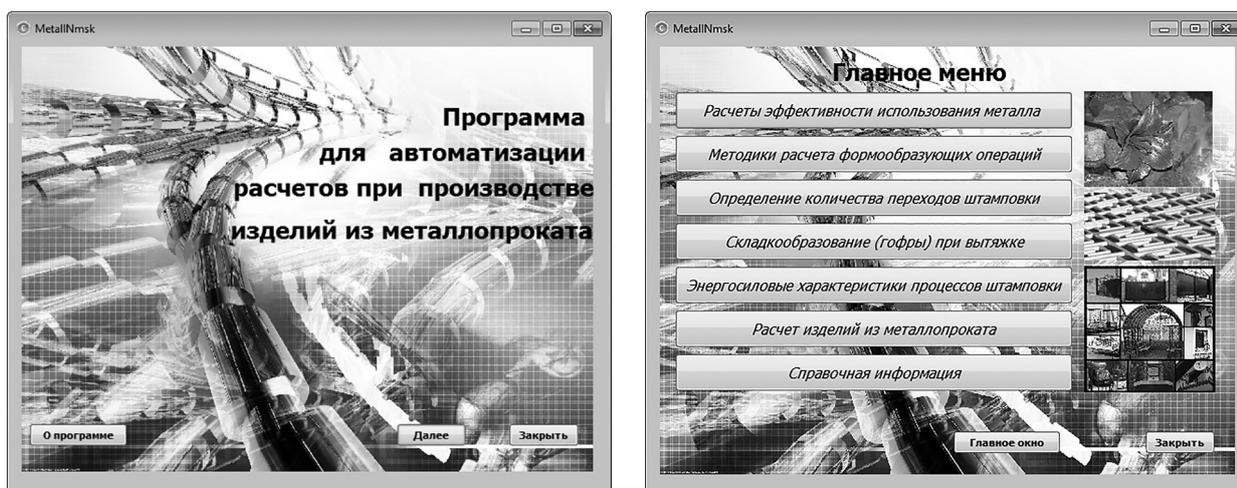


Рис. 1. Интерфейс программного продукта

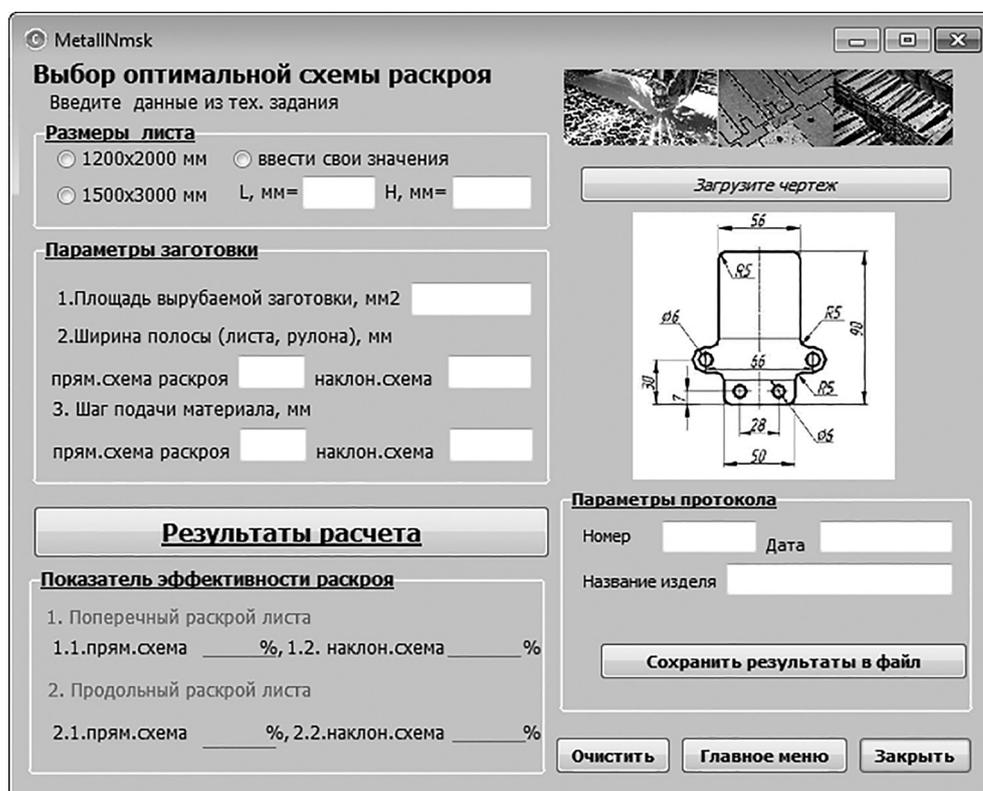


Рис. 2. Расчет эффективности использования металла

Программа предназначена для автоматизации расчетов различных этапов и стадий изготовления изделий из металлопроката (расчеты эффективности использования металла (см. рис. 2), формообразующих операций, складкообразования (гофры) при вытяжке, гибочных операций).

Рассмотрим пример расчета раскрой листа и полосы: требуется произвести раскрой листа и полосы на заготовки (рис. 3) и выбрать рациональную схему [5–7].

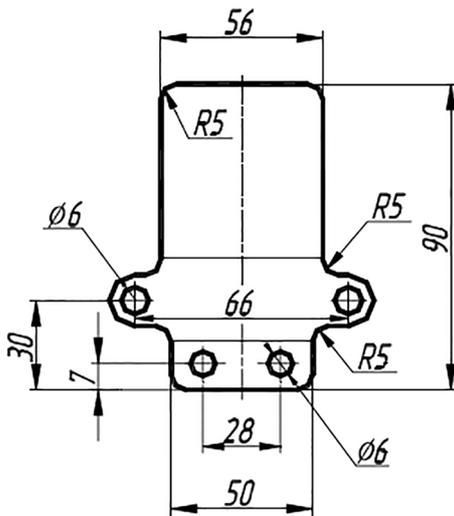
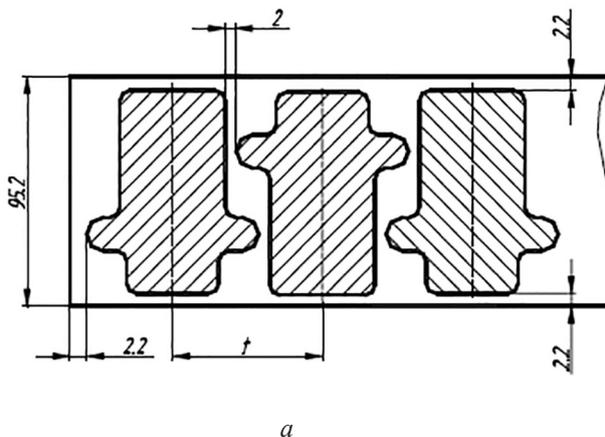


Рис. 3. Эскиз исходной заготовки

Материал заготовки – сталь 08кп ГОСТ 9045-93 толщиной  $S = 1,5$  мм. Анализируя геометрическую форму, размеры и назначение заготовки, приходим к следующим выводам:

- деталь изготавливается гибкой;
- линиягиба детали с малыми радиусами гибки [3], расположение волокон проката безразлично, что может позволить получить более экономичный раскрой материала;



– для предотвращения возможного повреждения поверхности материала, а также для снижения утомляемости штамповщика целесообразно принять в полосе однорядное расположение заготовок (рис. 4);

– для удобства работы длина полосы не должна превышать 2000 мм [8, 9].

Определяем ширину полосы [3] с боковым прижимом:

а) по формуле:

$$B = A + 2a + \Delta ш, \quad (5)$$

где  $A$  – размер вырубаемой заготовки поперек полосы,  $A = 90$  мм;  $a$  – наименьшая боковая перемычка,  $a = 2,2$  мм;  $B$  – междетальная перемычка,  $B = 2,0$  мм;  $\Delta ш$  – односторонний допуск на ширину полосы [1, 3],  $\Delta ш = 0,3$  мм.

Подставив увиденное значение в формулу (5), получим

$$B = 90 + 2 \cdot 2,2 + 0,8 = 95,2 \text{ мм};$$

б) графически с учетом величин  $a = 2,2$  мм и  $\Delta ш = 0,8$  мм

$$B = 86,8 \text{ мм}.$$

По ГОСТу 19904-90 выбираем листы габаритом  $1200 \times 2000$  мм и  $1500 \times 3000$  мм.

Рассмотрим две схемы раскрой листа: продольную и поперечную. Шаг подачи заготовок определяем из геометрических построений. По варианту а  $t = 70$  мм; по варианту б –  $t = 72$  мм.

Для определения площади заготовки разбиваем ее на ряд простых фигур: прямоугольники площадью  $f_1 = 56(90-30-7) = 2968 \text{ мм}^2$ ;  $f_2 = 50(30-7) = 1150 \text{ мм}^2$ ;  $f_3 = 66 \cdot 14 = 924 \text{ мм}^2$  и круг площадью  $f_4 = \frac{\pi \cdot 14^2}{4} = 153 \text{ мм}^2$ .

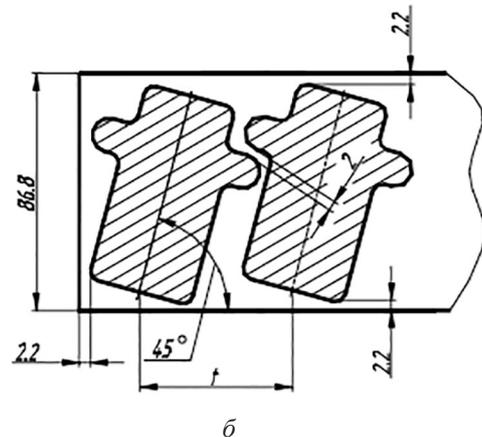


Рис. 4. Варианты расположения заготовок в полосе:

а) прямой раскрой; б) наклонный раскрой

Общая площадь заготовки составит:

$$F = \sum_{i=1}^{i=n} f_i = 1150 + 924 + 2968 + 153 = 5195 \text{ мм}^2.$$

Таким образом, для листа 1500×3000 оптимальным вариантом раскрой является про-

должный раскрой по наклонной схеме (рис. 5). А для листа 1200×2000 рациональной схемой расчета является поперечный раскрой листа при наклонной схеме (рис. 6).

Предложенная программа позволяет рассчитать энергосиловые характеристики для раз-

**MetallNmsk**  
**Выбор оптимальной схемы раскроя**  
 Введите данные из тех. задания

**Размеры листа**  
 1200x2000 мм  ввести свои значения  
 1500x3000 мм L, мм=  H, мм=

**Параметры заготовки**

1. Площадь вырубаемой заготовки, мм2 **5195**  
 2. Ширина полосы (листа, рулона), мм  
 прям.схема раскроя **95,2** наклон.схема **86,8**  
 3. Шаг подачи материала, мм  
 прям.схема раскроя **70** наклон.схема **72**

**Результаты расчета**

**Показатель эффективности раскроя**

1. Поперечный раскрой листа  
 1.1. прям.схема **72,5** %, 1.2. наклон.схема **78,5** %  
 2. Продольный раскрой листа  
 2.1. прям.схема **72,7** %, 2.2. наклон.схема **79,2** %

**Параметры протокола**  
 Номер **114** Дата **03.02.2015**  
 Название изделия **Заготовка №1**

**Сохранить результаты в файл**

Очистить Главное меню Закрыть

Рис. 5. Выбор оптимального варианта раскроя листа (продольный)

**MetallNmsk**  
**Выбор оптимальной схемы раскроя**  
 Введите данные из тех. задания

**Размеры листа**  
 1200x2000 мм  ввести свои значения  
 1500x3000 мм L, мм=  H, мм=

**Параметры заготовки**

1. Площадь вырубаемой заготовки, мм2 **5195**  
 2. Ширина полосы (листа, рулона), мм  
 прям.схема раскроя **95,2** наклон.схема **86,8**  
 3. Шаг подачи материала, мм  
 прям.схема раскроя **70** наклон.схема **72**

**Результаты расчета**

**Показатель эффективности раскроя**

1. Поперечный раскрой листа  
 1.1. прям.схема **77,3** %, 1.2. наклон.схема **79,7** %  
 2. Продольный раскрой листа  
 2.1. прям.схема **72,7** %, 2.2. наклон.схема **75,9** %

**Параметры протокола**  
 Номер **115** Дата **03.02.2015**  
 Название изделия **Заготовка №1**

**Сохранить результаты в файл**

Очистить Главное меню Закрыть

Рис. 6. Выбор оптимального варианта раскроя листа (поперечный)

личных типов операций производства изделий из металлопроката, например для одной из формообразующих операций, такой как резка (рис. 7) [10].

Кроме того, данная программа позволяет автоматизировать расчеты простых металлоконструкций (цистерны, баки, ворота) и наиболее популярные расчеты (гаражи и т.п.).

### Заключение

Использование таких основных направлений экономии ресурсов, как внедрение новых технологий, повышение качества сырья и материалов, сокращение отходов, использование вторичных ресурсов, позволяет создать надежно действующий противозатратный механизм функционирования предприятия по производству изделий из металлопроката.

Развитие машиностроения и металлообработки требует дальнейшего совершенствования технологических процессов и методов расчета деформационных характеристик операций по изготовлению изделий из металлопроката. На основе экспериментальных и теоретических исследований, посвященных изучению напряженно-деформированного состояния при изготовлении деталей из металлопроката, рациональных принципов расчета технологических и прочностных характери-

стик, установлены соответствующие расчетные методики, общие правила и нормы проектирования, как конструкции деталей, так и технологического процесса изготовления, гарантирующие высокие эксплуатационные способности деталей при обеспечении минимизации энергосиловых характеристик, трудоемкости штамповки, повышении ресурсосбережения (повышения КИМ). Разработанный программный комплекс позволяет автоматизировать технологические расчеты малого предприятия по производству изделий из металлопроката, уменьшить затраты времени на подготовку к выполнению стадий производства, снизить риск повреждения дорогостоящего оборудования из-за применения неточных настроечных данных, тем самым расширить технологические возможности производства изделий из металлопроката.

### Список литературы

1. Казанцева Н.К., Ткачук Г.А., Смирнова Ю.О. Анализ изменений взаимоувязанных требований стандартов после принятия межгосударственного стандарта ГОСТ 31447-2012 «Трубы стальные сварные для магистральных газопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктов. Технические условия» // Производство проката. 2015. № 11. С. 42–47.

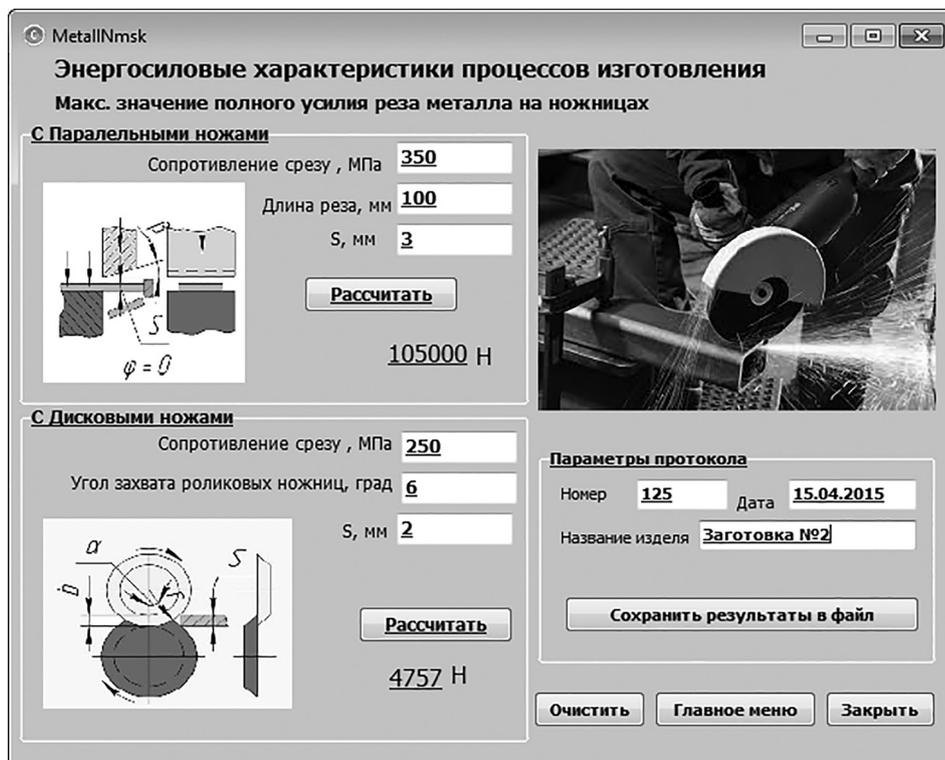


Рис. 7. Расчет энергосиловых характеристик процессов изготовления

2. Казанцева Н.К., Ткачук Г.А., Смирнова Ю.О. О стандартах на трубную продукцию // Производство проката. 2015. № 2. С. 43–48.
3. Гринюк О.Н., Алексашина О.В. Эффективные технологии изготовления изделий из металлопроката // Производство проката. 2016. № 4. С. 38–42.
4. Гринюк О.Н., Алексашина О.В. Автоматизация производства металлоконструкций // Вестник Международной академии системных исследований. Информатика, экология, экономика. 2016. Т. 18. № 1. С. 115–123.
5. Аверкиев Ю.А., Аверкиев А.Ю. Технология холодной штамповки. М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.
6. Головащенко С.Ф., Овчинников А.Г. Математическое моделирование процессов разрушения заготовок при выполнении разделительных операций импульсной штамповки // Вестник машиностроения. 1995. № 4. С. 25–29.
7. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. Л.: Машиностроение. 1979. – 520 с.
8. Громов Н.П. Теория обработки металлов давлением. М.: Металлургия. 1978. – 360 с.
9. Металлы и сплавы: справочник / В.К. Афонин, Б.С. Ермаков, Е.Л. Лебедев и др.: под ред. Ю.П. Солнцева. СПб.: Проффессионал, 2007. – 1092 с.
10. Арендательева С.И. Технологические операции. Расчет силовых параметров: учеб.-метод. пособие / В. Новгород: НовГУ им. Ярослава Мудрого, 2011. – 67 с.

#### **ГРИНЮК**

**Ольга Николаевна**

E-mail: [olgrinyuk@mail.ru](mailto:olgrinyuk@mail.ru)

Тел.: 8(48762) 6-06-46

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов», Новомосковский институт (филиал) российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева. Сфера научных интересов: автоматизация производственных процессов, информационные технологии, управление качеством. Автор 40 научных работ.

#### **АЛЕКСАШИНА**

**Ольга Вячеславовна**

E-mail: [Svirukova@yandex.ru](mailto:Svirukova@yandex.ru)

Тел.: (495) 223-05-23, доб. 2283

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Стандартизация, метрология и сертификация», Московский политехнический университет. Сфера научных интересов: метрология, технические измерения и приборы, управление качеством. Автор 38 научных работ.

#### **ВЯЧЕСЛАВОВА**

**Ольга Федоровна**

E-mail: [vyache-smis@mail.ru](mailto:vyache-smis@mail.ru)

Тел.: (495) 223-05-23, доб. 2282

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Стандартизация, метрология и сертификация», Московский политехнический университет. Сфера научных интересов: методы фрактального анализа; метрология, стандартизация и сертификация, управление качеством. Автор 167 научных работ.

#### **МАСЛОВА**

**Наталья Васильевна**

E-mail: [nmaslova@nirhtu.ru](mailto:nmaslova@nirhtu.ru)

Тел.: 8 (48762) 6-13-76

Кандидат технических наук, доцент, декан факультета «Кибернетика», Новомосковский институт (филиал) российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева. Сфера научных интересов: автоматизация производственных процессов, информационные технологии, управление качеством. Автор 25 научных работ.