

УДК 678.05

### МИНИМИЗАЦИЯ МАССЫ ВАЛКОВ ВАЛЬЦОВ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**В.А. Котов, А.С. Клинков, М.В. Соколов, Д.Л. Полушкин**

*ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов*

**Ключевые слова и фразы:** валковые машины; валок; металлоёмкость; оптимальное проектирование; тяжело нагруженные детали.

**Аннотация:** Поставлена задача оптимального проектирования валков для валковых машин (вальцов и каландров), разработано приложение для её решения на персональном компьютере с возможностью автоматизированного построения схем и трёхмерных моделей конструкций.

В инженерной практике часто возникают ситуации, в которых большой объём проектных работ необходимо выполнить в сжатые сроки, с высокими требованиями к их качеству, что стимулирует разработку средств автоматизированного проектирования в химическом машиностроении и, в частности, в полимерной отрасли, например, для валковых машин [2].

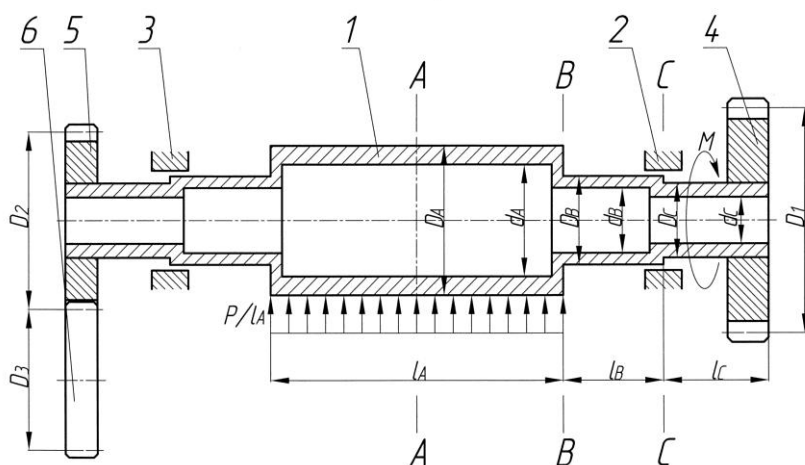
Обязательным этапом проектирования валковых машин (вальцов и каландров) является прочностной расчёт их основных элементов и, прежде всего, валков [2].

Конструктивная схема валка вальцов показана на рис. 1.

Прочностной расчёт валка заключается в проверке условий прочности и жёсткости. Однако, учитывая недостаток и высокую стоимость материала сегодня, эти условия являются необходимыми, но не достаточными. Требуется минимизировать металлоёмкость изделия на стадии проектирования [1]. Для этого необходимо выбрать наилучший вариант из множества возможных, что является задачей оптимизации [3]. В данном случае

---

Котов В.А. – сотрудник ТамбГТУ, E-mail: polymers@asp.tstu.ru; Клинков А.С. – кандидат технических наук, профессор кафедры «Переработка полимеров и упаковочное производство» ТамбГТУ, E-mail: polymers@asp.tstu.ru; Соколов М.В. – доктор технических наук, доцент кафедры «Переработка полимеров и упаковочное производство» ТамбГТУ, E-mail: polymers@asp.tstu.ru, smv@asp.tstu.ru; Полушкин Д.Л. – кандидат технических наук, ассистент кафедры «Переработка полимеров и упаковочное производство» ТамбГТУ, E-mail: polymers@asp.tstu.ru, г. Тамбов.



**Рис. 1. Конструктивная схема вала вальцов:**

1 – валок; 2, 3 – подшипники; 4 – ведущая шестерня; 5, 6 – зубчатые колёса, где:  $D_1$  – делительный диаметр ведущей шестерни;  $D_2, D_3$  – делительные диаметры зубчатых колёс;  $l_A, l_B, l_C$  – длины участков вала;  $D_A, D_B, D_C$  – внешние диаметры участков вала;  $d_A, d_B, d_C$  – внутренние диаметры участков вала (индексы обозначают принадлежность к участкам вала: A – бочке, B – цапфе и C – хвостовой части);  $P$  – распорное усилие;  $M$  – крутящий момент на ведущей шестерне.

$$V = \frac{\pi}{4} \left[ (D_A^2 - d_A^2) l_A + 2(D_B^2 - d_B^2) l_B + 2(D_C^2 - d_C^2) l_C \right] \quad (1)$$

целевой функцией будет являться объём вала (1). В качестве варьируемых параметров выберем внутренние диаметры вала, так как остальные размеры стандартизованы. Валок изготовлен из материала с пределом прочности на изгиб  $[\sigma]_u$ , допустимым прогибом  $[f]$ , плотностью  $\rho$  и модулем упругости  $E$ .

Для постановки задачи введём следующие допущения:

1. Максимальные эквивалентные напряжения возникают в сечениях вала A, B, C [1].
2. Максимальный расчётный прогиб вала возникает в среднем сечении A [1].
3. Весь объём вала состоит из одного материала.

Сформулируем задачу оптимизации: необходимо найти такие значения конструктивных параметров (внутренних диаметров) вала вальцов, при которых его объём достигал бы минимума при выполнении условий прочности, жёсткости и ограничения на варьируемые параметры (внутренние диаметры).

$$d = d^* ; \quad (2)$$

$$V(d^*) = \min V(d) ; \quad d \in D \quad (3)$$

$$D = \{d : \max \sigma_s(d) \leq [\sigma]_u ; \max f(d) \leq [f] ; a_s \leq d_s \leq b_s ; s = A, B, C\} ; \quad (4)$$

где  $d = \{d_A, d_B, d_C\}$  – вектор варьируемых параметров;  $d^* = \{d_A^*, d_B^*, d_C^*\}$  – вектор оптимальных значений варьируемых параметров;  $V(d)$  – объём

валка как функция варьируемых параметров;  $V(d^*) = V^*$  – оптимальное значение объёма валка;  $D$  – область допустимых значений варьируемых параметров;  $s$  – сечение валка;  $\sigma_s(d)$  – эквивалентное напряжение в сечении  $s$  как функция варьируемых параметров;  $f(d)$  – расчётный прогиб в сечении  $A$  как функция варьируемых параметров;  $a_s$ ,  $b_s$  – наименьшее и наибольшее значение  $d_s$  соответственно.

В соответствии с поставленной задачей (2–4) был разработан алгоритм для её решения на ПЭВМ, который позволяет находить решения в заданном диапазоне изменения переменных с заданной точностью.

На основе разработанного алгоритма в среде Borland Delphi 7.0 [4] для операционных систем семейства Windows было написано «Приложение для расчёта оптимальных конструктивных параметров валков вальцов» (рис. 2) [5].

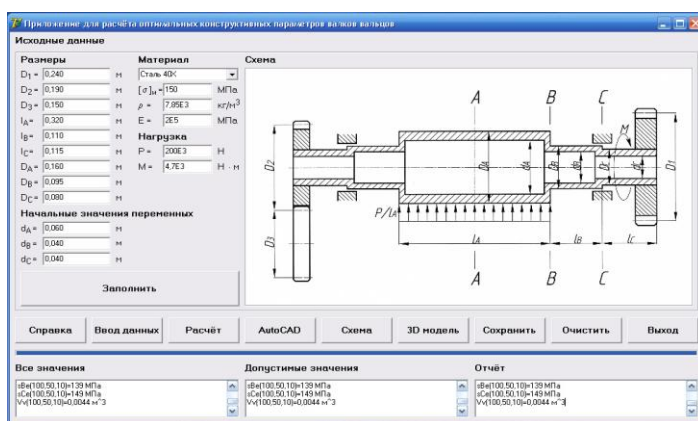


Рис. 2. Интерфейс приложения для расчёта оптимальных конструктивных параметров валков вальцов

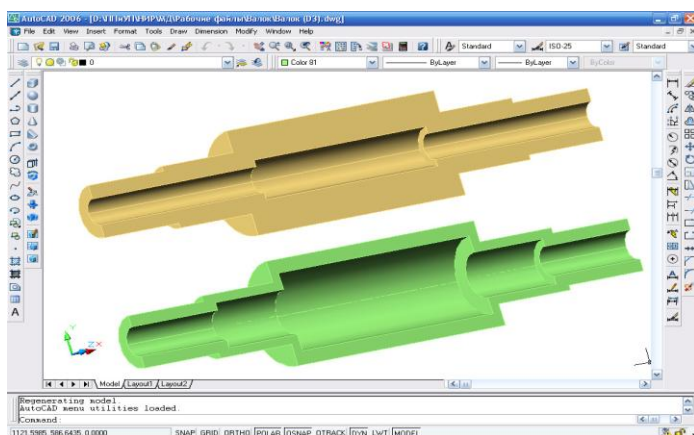


Рис. 3. Пример автоматизированного построения трёхмерных моделей валков в среде Autodesk AutoCAD: исходного (сверху) и оптимизированного (внизу)

Кроме выполнения основных задач, разработанное приложение обладает следующими возможностями по представлению исходных данных и результатов расчёта:

1. Автоматизированное построение схем и трёхмерных моделей валков в среде Autodesk AutoCAD с сохранением в файле dwg (рис. 3);
2. Автоматизированное составление текстового отчёта о расчёте валков с сохранением в файле txt или doc.

Рассмотрим пример работы приложения.

Исходные данные:  $D_1 = 0,240$  м;  $D_2 = 0,190$  м;  $D_3 = 0,150$  м;  $l_A = 0,320$  м;  $l_B = 0,110$  м;  $l_C = 0,115$  м;  $D_A = 0,160$  м;  $D_B = 0,095$  м;  $D_C = 0,080$  м;  $d_A = 0,060$  м;  $d_B = 0,040$  м;  $d_C = 0,040$  м; Сталь 40X;  $[\sigma]_u = 150$  МПа;  $\rho = 7,85 \times 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;  $E = 2 \times 10^5$  МПа;  $P = 200 \times 10^3$  Н;  $M = 4,7 \times 10^3$  Н м.

Получены следующие результаты:  $V_0 = 7,7 \times 10^3$  м<sup>3</sup>;  $d_A^* = 0,120$  м;  $d_B^* = 0,069$  м;  $d_C^* = 0,045$  м;  $\sigma_A = 56,6$  МПа;  $\sigma_B = 139$  МПа;  $\sigma_C = 149$  МПа;  $V^* = 4,4 \times 10^3$  м<sup>3</sup>.

### Вывод

Данное приложение путём увеличения внутренних диаметров позволяет снизить металлоёмкость конструкции валка на стадии проектирования при сохранении её прочности, что наглядно демонстрируют построенные схемы и трёхмерные модели (рис. 3), освобождая проектировщика от продолжительных и трудоёмких расчётов и построений.

Разработанное приложение может быть использовано при проектировании промышленного валкового оборудования, а также в учебном процессе, по профильным специальностям при выполнении студентами дипломных, курсовых и лабораторных работ на соответствующие темы.

### Список литературы

1. Клинков, А.С. Автоматизированное проектирование валковых машин для переработки полимерных материалов / А.С. Клинков, М.В. Соколов, В.И. Кочетов, П.С. Беляев, В.Г. Однолько. – М. : Машиностроение-1, 2005. – 320 с.
2. Лукач, Ю.Е. Автоматизированное проектирование валковых машин для переработки полимеров / Ю.Е. Лукач, Л.Г. Воронин, Л.И. Ружинская, В.Н. Бондаренко, Л.Р. Зейгермахер, С.А. Рощупкин. – К. : Техника, 1988. – 208 с.
3. Малыгин, Е.Н. Прикладное программирование: учеб. пособ / Е.Н. Малыгин, С.В. Карпушкин, Е.Н. Туголуков. – Тамбов : Тамб. гос. техн. ун-т, 2000. – 116 с.
4. Парижский, С.М. Delphi. Учимся на примерах / Под ред. Ю.А. Шпака. – К. : МК-Пресс, 2005. – 216 с.
5. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. – № 2009614679. Расчётно-аналитический комплекс оборудования для вторичной переработки термопластичных полимерных материалов /

В.А. Котов, А.С. Клинков, М.В. Соколов, П.С. Беляев, Д.Л. Полушкин,  
Д.В. Туляков; – Тамбов : Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2009613514, 2009.

---

**Minimization of Rollers Mass for Polymer Materials Processing**

**V.A. Kotov, A.S. Klinkov, M.V. Sokolov. D.L. Polushkin**

*Tambov State Technical University, Tambov*

**Key words and phrases:** roller machines; roller; metal capacity; optimal designing; heavy-loaded parts.

**Abstract:** The paper sets the task of optimal designing of roller machines (rollers and calenders), it designs the application for its solution on personal computer with the possibility of automated designing of schemes and three-dimensional; structures.

---

© В.А. Котов, А.С. Клинков, М.В. Соколов, Д.Л. Полушкин, 2009