

# РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ВЫБОРУ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ГИБКИ ТРУБОПРОВОДОВ

**А. И. Долматов**

Доктор технических наук, профессор, заведующий  
кафедрой

Кафедра технологии производства двигателей  
летательных аппаратов

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.  
Жуковского «Харьковский авиационный институт»  
ул. Чкалова, 17, г. Харьков, Украина, 61070

**И. А. Жданов**

Заместитель директора  
ГП ХМЗ «ФЭД»

ул. Сумская, 132, г. Харьков, Украина, 61023

*В роботі наведено результати аналізу різних методик і рекомендацій з вибору універсального і спеціалізованого устаткування для гнуття труб, починаючи від найпростіших машин для ручного згинання і закінчуючи верстатами з ЧПУ*

*Ключові слова: гнуття, стоншення і стовщення стінок, гофрування*

*В работе приведены результаты анализа различных методик и рекомендаций по выбору универсального и специализированного оборудования для гибки труб, начиная от простейших машин для ручной гибки и заканчивая станками с ЧПУ*

*Ключевые слова: гибка, утонение и утолщение стенок, гофрообразование*

*This paper presents the results of the analysis of different methods and recommendations on the selection of universal and specialized equipment for bending pipes, ranging from the simplest of machines for hand bending and finishing CNC machines*

*Keywords: tube bending, decrease of width of a walls and a swelling of walls, wrinkling*

## Анализ проблемы

На сегодняшний день одним из ответственных процессов, требующих особого внимания при подготовке производства авиационной и комической техники является гибка трубопроводов. Это обусловлено наличием существенных искажений формы и толщины стенки, потерей устойчивости и другими дефектами, возникающими в процессе гибки. Задачи обеспечения требуемой точности, предотвращения искажения формы при сохранении заданного уровня производительности в максимальной степени зависят от правильного выбора типа и состава оборудования.

Таким образом, создание рекомендаций для обоснованного выбора оборудования с наилучшим соотношением цена/качество на сегодняшний момент является актуальной задачей, особенно, в качестве модуля единой системы проектирования операций гибки трубопроводов.

## Постановка задачи и цели исследования

Целью данной работы является создание рекомендаций для обоснованного выбора типа и состава оборудования с наилучшим соотношением цена/качество. Для достижения этой цели необходимо решение ряда задач: разработка необходимых исходных данных, анализ преимуществ и недостатков различных схем и типов оборудования, областей их применения и существующих рекомендаций, разра-

ботка критериев, которые должны быть рассмотрены при выборе оборудования.

## 1. Анализ существующих рекомендаций по выбору типа оборудования

На сегодняшний день на рынке работают десятки компаний, предлагающих широкий выбор универсального и специализированного оборудования для гибки труб, начиная от простейших машин для ручной гибки и заканчивая станками с ЧПУ. Таким образом, предприятие, рассматривающее возможность покупки или модернизации трубогибочного оборудования, сталкиваются с обширным набором альтернатив.

Для обоснованного выбора типа и состава оборудования на первом этапе должен быть сформирован массив исходных данных. К ним следует отнести такие показатели как: наружный диаметр трубы, толщина стенки, радиус изгиба, угол изгиба, расстояние между соседними изгибами, плоскость изгиба, материал трубы, допустимая величина овальности, допустимая величина утонения стенки и др.

Все машины, имеющиеся на сегодняшний день на рынке, в зависимости от метода гибки можно условно разделить на ручные, полуавтоматические и автоматические.

Машины для ручной гибки характеризуются низкими начальными инвестициями, короткими сроками подготовки производства, простотой в использовании (если конфигурация детали несложная),

портативностью и относительной безопасностью работы.

Преимущества машин для ручной гибки заключаются в простоте настройки, мобильности и универсальности выполняемых операций. Среди недостатков стоит отметить ограниченные возможности, сложность автоматизации процесса, ограниченный стандартный инструмент, трудности с изготовлением деталей сложной конфигурации, низкая точность и повторяемость, невозможность автоматизации.

Оптимальные модели оборудования: HB1, MODEL 3 BENDER JD2, MODEL 4 BENDER. Рекомендуется применять в области гибки топливных, воздушных или гидравлических трубопроводов, диаметр изгибаемых труб 5/8", 2" и 2-1/2" (соответственно).

Среди преимуществ машин для полуавтоматической гибки можно отметить большие развиваемые усилия, оператор отвечает только за часть процессов (установка, позиционирование детали и т.д.), приемлемы для серийного производства, возможность изготовления более сложных деталей, более высокая точность. К недостаткам относятся трудоемкость непосредственно влияет на точность и темпы производства, требуется участие оператора, средняя точность и повторяемость, ограниченная сложность детали и сложность автоматизации.

Оптимальные модели оборудования: RDB-175, INECO QB50 и QB76, CP40. Рекомендуется применять в области гибки топливных, воздушных или гидравлических трубопроводов, диаметром изгибаемых труб 2-1/2", 2" и 2-3/4" (соответственно).

Преимущества машин автоматической гибки заключаются в максимальной точности и повторяемости, низких затратах труда на производство, высокая степень контроля, быстрый переход на новый объект производства, универсальность, возможность изготавливать детали сложной конфигурации. Среди недостатков отметим высокие капитальные затраты, высокие квалификационные требования к операторам, необходимость монтажа стационарных пневмо-, гидро- и электросистем.

Оптимальные модели оборудования В 10, WAFI-OS E-turn CNC 32 и BR8.

Область применения охватывает все системы, изготавливаемые из труб диаметром до 60 мм, до 52 мм и до 32 мм (соответственно).

Из критериев выбора оборудования наиболее весомыми являются следующие:

1. *Стоимость оборудования.* Так стоимость машин для ручной гибки может варьироваться от 300-500 (для трубогибов с максимальным диаметром трубы до 0.5") до 23000 долларов (для трубогибов с максимальным диаметром трубы до 2") в зависимости от комплектации. Для машин полуавтоматической гибки этот параметр составляет от 7000 до 75000 долларов. Данный тип машин применяется, как правило, для гибки труб с диаметрами до 3". Уровень цен на машины с ЧПУ составляет от 55000 до 250000 долларов.

2. *Срок окупаемости.* Данный показатель является одним из основных и для машин ручной гибки рекомендуется на уровне 1 года для дешёвого оборудования с базовой комплектацией и до 2,5 лет для машин улучшенной комплектации стоимостью до

20000 долларов. Для машин полуавтоматической гибки оптимальным является срок окупаемости на уровне 4-5 лет. Для машин с ЧПУ стоимостью свыше 100000 долларов оптимальным является срок окупаемости на уровне 5-8 лет.

3. *Производительность оборудования.* Производительность машин для гибки варьируется от 35-0...450 деталей в час (при 1 гibe на деталь) до 25...50 гибов (при 10 гibaх в час). Необходимо отметить, что малом количестве гибов на деталь (1...2) использование дорогостоящих станков с ЧПУ не приводит к существенному росту производительности (не более 30%). Таким образом использование оборудования для автоматической гибки рекомендуется при изготовлении деталей сложной конфигурации (при количестве гибов на деталь – более 5 при наличии нескольких плоскостей изгиба).

4. *Точность станка.* При рассмотрении данного параметра необходимо учитывать, что машины для полуавтоматической гибки по таким параметрам, как точность позиционирования и угол поворота незначительно превосходят машины для ручной гибки. Тогда как точность станков с ЧПУ выше почти на порядок (до  $\pm 0.001$ " по точности линейного позиционирования и до  $\pm 0.05$  по углу поворота) при существенно более высокой стабильности данных параметров.

Особое внимание при выборе полуавтоматической, а тем более – машины с ЧПУ рекомендуется обратить на стоимость эксплуатации, сервиса, расходных материалов и т.д. Поскольку стоимость обслуживания сложного оборудования может составлять ежегодно большой процент от его начальной стоимости, что в сумме с амортизационными отчислениями может поставить под вопрос рентабельность производства. Также следует учитывать, что хотя гибка с ЧПУ предлагает высокую точность и повторяемость позиционирования, вращения и степени изгиба, она не гарантирует, что геометрические параметры детали будут в заданных допусках. Большое значение имеют ограничения гибки, связанные с физическими свойствами материала детали, которые могут оказывать существенное влияние на точность изготавливаемой детали.

---

## 2. Анализ рекомендаций по выбору состава оборудования

---

При выборе типа привода анализируются характеристики существующих приводов, используемых в производстве. Рассмотрим основные типы:

Установки с пневматическим приводом имеют преимущества в низкой стоимости, простоте в обслуживании и большой ресурс. К недостаткам пневмоприводов относится неудовлетворительная точность и равномерность гибки из-за сложности регулировки скорости (дресселирование).

Рекомендуется для второстепенных задач, где не требуется какая-либо точность, а требуется простое автоматическое перемещение узлов станка (например: зажим-разжим, подъём/опускание и т.д.).

Установки с гидроприводом имеют преимущества в возможности интегральной регулировки режимов

(дросселирование), что позволяет эффективно работать с различными материалами (сталь, медь, нержавейка и т.д.).

К недостаткам гидропривода относится относительно низкий ресурс, чувствительность к атмосферным условиям и сложность в обслуживании.

На данный момент самый популярный и недорогой тип привода гибочной консоли. По точности, скорости и надёжности гидравлический привод уступает сервоприводу.

Установки с сервоприводом имеют преимущества в высокой скорости и точности позиционирования привода (менее  $\pm 0,1^\circ$ ), хорошая равномерность (плавность) гибки с ЧПУ-управлением как скоростью так и ускорением привода. Среди недостатков установок с сервоприводом стоит отметить высокую стоимость а также необходимость в дорогостоящем обслуживании.

В настоящее время самый точный, быстрый, надёжный тип привода. Широко используется на координаты "подача трубы" и "поворот в пространстве". На гибочную консоль ставят.

Учитывая производственные особенности, определяется выбор станины. Литая станина рекомендуется использовать в серийном производстве, где оборудование эксплуатируется большой период с высокой загрузкой. Портативные установки ("на колесах" или "на стойке") обеспечивают высокую мобильность, однако низкая жесткость конструкции не позволяет достигать необходимую точность и изготавливать трехмерные изделия.

Исходя из типа производства и сложности гибки труб, выбирается тип гибочной консоли. Трубогиб с гибкой в одну сторону рекомендуется для изготовления деталей любой сложности в условиях серийного производства. Двусторонние трубогибы рекомендуется использовать преимущественно в опытно и мелкосерийном производстве, так как высокая цена,

связанная со сложностью и громоздкостью как самой гибочной консоли, так и проблемами в эксплуатации и настройке инструментальной оснастки.

В высокоточной гибки труб из гибочной оснастки рекомендуется использовать:

- Гибочные головки с прямым участком для зажима трубы для зажима трубы без деформации и предотвращения выскальзывания её из оснастки во время гибки. В противном случае, например при использовании гибочного ролика без прямого участка (т.е. обычный круглый ролик), всегда будет вмятина в началегиба (менее заметна у толстостенных труб), а также очень вероятен эффект проскальзывания оснастки относительно трубы, с обязательным образованием царапин от скольжения, на внешней стороне изгиба;

- Складко-держатели необходимы при гибке тонкостенных труб с малыми радиусами, если есть вероятность появления складок (гофр) на внутренней стороне изгиба. Дорн, каким бы качественным он не был, не способен всерьёз бороться со складками. Основная задача дорна - свести к минимуму овальность трубы в месте изгиба. Для устранения же складок, устанавливается складкодержатель;

- Хвостовые прижимы для гибки нержавеющей стали и других материалов, а также для улучшения качества гибки, станок должен быть оснащён усилителем хвостового прижима.

---

### Выводы

---

В работе рассмотрены критерии выбора оборудования для гибки трубопроводов и рассмотрены оптимальные с точки зрения «цена-качество» модели оборудования. Приведены рекомендации по выбору типа и компоновки оборудования с учётом особенностей производства.

---

### Литература

1. Dyau, J.Y. On the Response of Elastic-Plastic Tubes Under Combined Bending and Tension [Text]/ J.Y. Dyau, S. Kyriakides //Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering.- 1992.- Vol.114. - pp.50-62.
2. Miller J.E. On Bend-Stretch Forming of Aluminum Extruded Tubes - I: Experiments [Text]/ J.E. Miller, S.Kyriakides, A.H. Bastard// International Journal of Mechanical Sciences.- 2001.- Vol. 43(5).- pp. 1283-1317.
3. Miller J.E. On Bend-Stretch Forming of Aluminum Extruded Tubes - II: Analysis [Text]/J.E. Miller, S.Kyriakides, A.H. Bastard// International Journal of Mechanical Sciences.- 2001.- Vol. 43(5).- pp. 1319-1338.