

УДК 621.981.02

В.И. Беляков<sup>1</sup>, Н.К. Резниченко<sup>1</sup>, А.Я. Мовшович<sup>1</sup>, В.В. Косенко<sup>2</sup><sup>1</sup>Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков<sup>2</sup>ГП «Харьковский научно-исследовательский институт технологии машиностроения»

## НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ПЛАСТИЧЕСКОГО ИЗГИБА

Рассмотрены схемы деформации при гибке и возникающие при этом изгибающие напряжения в зависимости от угла и внутреннего радиуса изгиба, а также упругих свойств материала заготовки.

**Ключевые слова:** формообразование деталей, метод пластического изгиба.

### Введение

Одним из прогрессивных методов изготовления листовых деталей является холодная штамповка, основанная на получении формы деталей путем необратимо пластической деформации заготовки.

Холодная штамповка позволяет широко использовать механизацию и автоматизацию процесса формообразования, благодаря чему достигается высокая производительность труда и низкая себестоимость изделий. Кроме того, при штамповке повышается коэффициент использования металла по сравнению с обработкой резанием.

При определенном сочетании механических свойств материала, кривизны изгиба и геометрических параметров статей части пластического элемента произойти местная потеря устойчивости последнего [1].

В связи с этим особое внимание следует уделять исследованию изгибающих напряжений, соответствующих началу момента потери устойчивости сжатой полки или стенки профиля.

Стабильная форма детали характеризуется взаимно уравновешенным состоянием остаточных напряжений [2].

### Исследование напряженного состояния заготовки при гибке

Гибкой получают большое количество деталей. И несмотря на это, процессы, происходящие в металле при гибочных операциях, не всем хорошо известны.

Гибка любого металла или неметалла сопровождается неравномерной деформацией отдельных его частей. Если изгибать металлический стержень (рис. 1, а), то наружные его слои примерно до середины растягиваются, а внутренние сжимаются. Следовательно, в наружных слоях возникают напряжения растяжения, а во внутренних – сжатия. И очевидно, имеется слой, где нет никаких напряжений, т.е. нейтральный слой. Если для изгиба стержня было приложено незначительное усилие, то после его снятия стержень примет первоначальную форму. Следовательно, деформация была *упругой*. Дефор-

мация будет *остаточной*, если стержень после снятия усилия останется изогнутым. Это происходит при больших усилиях, или нагрузках, когда возникшие в металле напряжения значительно превышают предельные. Так, если испытаниями в лаборатории установлено, что у стали марки 45 остаточные деформации появляются при напряжениях, равных  $40 \text{ кг/мм}^2$ , то это и есть предельное для нее напряжение, называемое пределом текучести. Предел текучести обозначается через  $\sigma_T$ . При еще большей нагрузке в наружных слоях могут появиться трещины, а во внутренних складки. Напряжения, при которых металл разрушается, называются пределом прочности, или временным сопротивлением. Предел прочности обозначается через  $\sigma_B$ .

Возникновение изгибающих напряжений при гибке зависит не столько от усилий гибки, сколько от угла или внутреннего радиуса изгиба. Углом изгиба называется угол между осью или стороной прямолинейной заготовки в ее исходном положении и осью или стороной заготовки после гибки. На рис. 1, а угол гибки обозначен через  $\alpha$ . При малом угле  $\alpha$ , т. е. при большом радиусе  $R_1$  (рис 1, б), в сечении изгибаемого стержня имеются только упругие деформации. Если величину напряжений, соответствующих этим деформациям, мы захотели бы изобразить отрезками линий со стрелкой, то они распределились бы в месте изгиба так, как показано на рис. 1, б. Такое же распределение напряжений произойдет и по сечению стержня. При увеличении угла  $\alpha_2$  и соответственно при уменьшении радиуса изгиба  $R_2$  появляются остаточные деформации в наружных слоях стержня, а во внутренних еще сохраняются упругие деформации (рис. 1, в). Может быть такой малый угол изгиба, при котором по всему сечению стержня деформации будут только остаточные (рис. 1, г). Особенно это относится к гибке нагретых заготовок. Здесь внутренние напряжения искажают форму поперечного сечения стержня – круглая форма становится эллиптической, а квадратная – трапецевидной (рис. 1, д). Поэтому распределение этих напряжений получается примерно таким, как указано на рис. 1 и 2, т.е. со смещением нейтральной линии в сторону сжатых слоев.

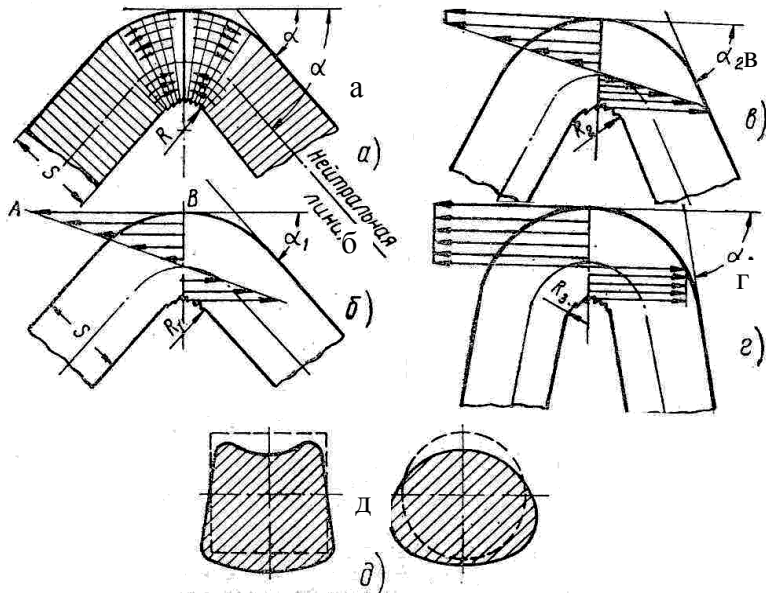


Рис. 1. Схемы деформации при гибке

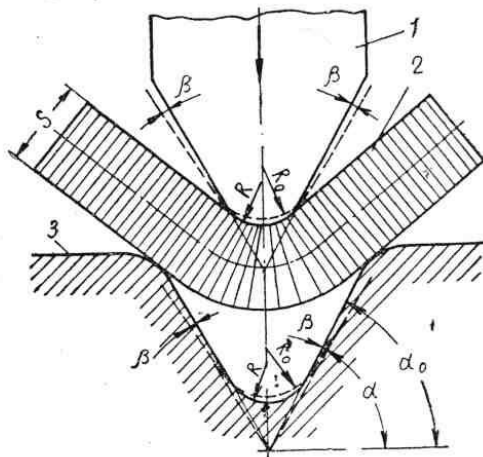


Рис. 2. Схема образования формы пуансона и матрицы

Каким же должен быть допустимый радиус изгиба  $R$ , при котором не происходило бы разрушения верхних слоев металла? Установлено, что величина радиуса зависит от толщины изгибаемой заготовки и от величины относительного поперечного сужения  $\psi$  для соответствующей марки металла. Величина относительного сужения показывает, насколько сузился образец по площади сечения при разрыве его по отношению к первоначальному размеру. Например, если первоначальная площадь поперечного сечения образца была  $100 \text{ мм}^2$ , а после разрыва она стала  $50 \text{ мм}^2$ , то относительное сужение будет

$$\psi = \frac{100 - 50}{100} = 0,5 \quad \text{или} \quad 50\%.$$

Относительное сужение определяется при испытаниях образцов металла на растяжение. Для стали марки 30 со средним содержанием углерода 0,3% оно равно 50%, или  $\psi = 0,5$ . Чем пластичнее металл, тем больше величина  $\psi$ . Для определения минимальных радиусов изгиба используется формула (1):

$$R = \frac{S(1 - 2\psi)}{2\psi}, \quad (1)$$

где  $S$  – толщина заготовки;  $\psi$  – относительное сужение.

Допустим, необходимо согнуть заготовку на  $90^\circ$ , т.е. перегнуть пополам до соприкосновения концов, при этом радиус изгиба будет равен нулю ( $R = 0$ ). Какое же получится относительное сужение и, следовательно, какую сталь надо взять, чтобы ее можно было подвергать такому изгибу? Подставим в формулу (1) значение  $R = 0$ , тогда

$$0 = \frac{S(1 - 2\psi)}{2\psi}; \quad S(1 - 2\psi) = 0; \quad \psi = 0,5.$$

Таким образом, сталь марки 30 как раз подойдет для этой цели. Подойдут также стали марок 10; 20; 25; 20Г, имеющие относительное сужение, равное 50% и больше.

Для многих других марок стали такой изгиб в холодном состоянии опасен, поэтому потребуется заготовку нагревать. При нагреве до температуры даже не более  $900 - 1000^\circ$  с увеличением относительного сужения резко увеличивается пластичность стали, поэтому в нагретом состоянии заготовку можно изгибать на любой угол с любым радиусом [3].

### Выводы

На гибку в холодном состоянии значительно влияют упругие свойства металла. Особенно это относится к малопластичным высокоуглеродистым и легированным сталям, которые при гибке сильно пружинят и не позволяют получить заданный радиус изгиба без поправок в конструкции инструмента. Если нужно получить при гибке стержня 2 (рис. 2) какой-то угол, например  $60^\circ$ , и определенный радиус закругления, то, очевидно, матрицу 3 и пуансон 1 нельзя изготовлять, как показано пунктиром, под углом  $60^\circ$ . Углы их нужно взять более острыми, а радиусы закругления должны быть взяты меньшими. Угол, на который нужно сделать поправку в гибочном инструменте, называется *углом пружинения*. Величина его в значительной степени зависит от соотношения между радиусом гибки  $R$  и толщиной  $S$  материала  $R/S$ . Чем больше это соотношение, тем больше угол пружинения. Так например, для стали средней твердости, изгибаемой под углом  $90^\circ$ , при отношении  $R/S \geq 1...5$  угол пружинения составляет  $\beta = \alpha_0 - \alpha = 1^\circ$ , при большем соотношении  $\beta = 3$ . Величина изменения радиуса пружинения  $R_0$  от этого отношения зависит в меньшей степени.

### Список литературы

1. Ганаго О.А. Элементы теории пластичности в обработке металлов давлением / О.А. Ганаго. – М.: Машиностроение, 1982. – 55 с.

УДК 621. 311

Г.И. Лагутин, А.Е. Ручка

*Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков*

## **ТИПЫ АВТОНОМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ВОЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

*В статье описываются основные существующие войсковые электростанции и электроагрегаты, используемые в системах электроснабжения комплексов вооружения и военной.*

**Ключевые слова:** *системы электроснабжения, комплексы вооружения и военной техники, передвижные электростанции, электроагрегаты, оптимизация типажа и мощностей.*

### **Введение**

*Постановка проблемы.* Системы электроснабжения комплексов вооружения и военной техники (ВВТ) характеризуются сложной структурой, широкой номенклатурой входящих в их состав электротехнических средств, большим разнообразием параметров электрической энергии, которые они вырабатывают. Структура таких систем электроснабжения и состав источников электроэнергии определяются как общими требованиями, предъявляемыми к системам электроснабжения любого назначения, так и специальными требованиями, характеризующими особенности электроснабжения конкретных военных объектов.

Большое многообразие величин мощности, потребляемой образцами вооружения и военной техники, обуславливает многообразие войсковых электроагрегатов (ЭА) и электростанций (ЭС). Ограниченное ресурсное обеспечение Вооруженных Сил Украины значительно замедляет реализацию положений Государственной программы развития Вооруженных Сил Украины на 2006-2011 г.г., что делает актуальным уменьшение количества типов и градации мощностей автономных источников электрической энергии, которые будут обеспечивать элек-

троснабжение войск (сил) в пунктах постоянной дислокации и в полевых условиях.

**Цель статьи.** Определение основных типов войсковых электростанций и электроагрегатов при выборе номенклатуры и мощностей автономных источников электрической энергии.

### **Основная часть**

Комплексы вооружения и военной техники, оставшиеся в Вооруженных Силах Украины после распада Советского Союза, в большинстве своем отработали установленный ресурс и потому нуждаются в переоснащении и замене. Одновременно нуждаются в замене источники электрической энергии, обеспечивающие надежность и живучесть образцов вооружения, которые входят в состав этих комплексов. Необходимость экономии материальных и финансовых ресурсов для содержания вооружения и военной техники требуют ограничения номенклатуры автономных источников электрической энергии, которые будут вводиться для замены устаревших образцов. Важность указанной задачи повышается в связи с ограниченным производством автономных источников электроэнергии военного назначения на территории Украины.

На сегодняшнее время на учет электротехнической службы Вооруженных Сил Украины насчитывается почти 25 тыс. войсковых электроагрегатов и электростанций (табл. 1). Из них около 3600 являются электростанциями и электроагрегатами общевойскового назначения (ОВН), а остальные входят в комплексы вооружения и военной техники.

Таблица 1  
Общее количество электростанций и электроагрегатов в Вооруженных Силах Украины

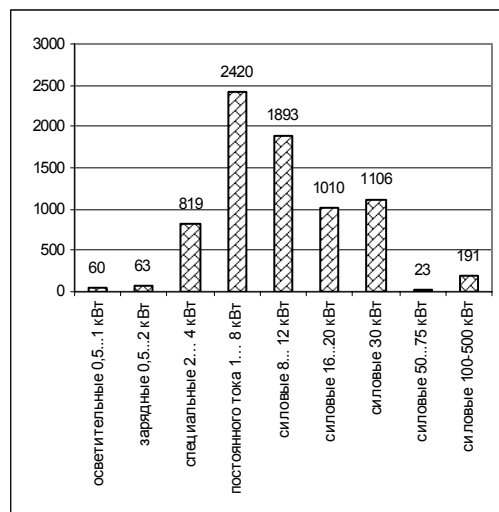
Назначение и мощность ЭС (ЭА)	Количество ЭС (ЭА)		
	ОВН	в комплексах ОВТ	всего
<b>ЭС силовые:</b>			
100...500 кВт	170	191	361
60 (50...75) кВт	189	23	212
30 кВт	317	1106	1423
16...20 кВт	119	1010	1129
8...12 кВт	489	1893	2382
<b>ЭС осветительные:</b>			
8...20 кВт	185	0	185
4 кВт	662	0	662
2 кВт	277	0	277
0,5...1 кВт	246	60	306
<b>ЭС инженерные 8...16 кВт</b>	71	0	71
<b>ЭС зарядные:</b>	90	63	153
0,5...2 кВт			
4 кВт	178	0	178
8...20 кВт	53	0	53
<b>ЭС специальные 2...4 кВт</b>	6	819	825
<b>ЭС пост. тока 1...8 кВт</b>	29	2420	2449
<b>Электроагрегаты:</b>			
0,5...4кВт	261	9454	9715
8...12 кВт	46	2687	2733
16...20 кВт	44	717	761
30 кВт	82	674	756
60 (50...75) кВт	23	261	284
100...500 кВт	73	9	82
<b>Всего</b>	<b>3610</b>	<b>21387</b>	<b>24997</b>

В настоящее время в Вооруженных Силах Украины всего насчитывается 181 тип электростанций и 153 типа электроагрегатов.

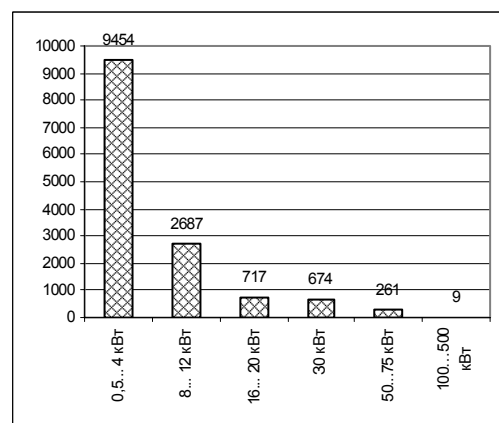
На рис. 1 представлены соответственно диаграммы количественного распределения войсковых электростанций и электроагрегатов, входящих в комплексы вооружения и военной техники, в зависимости от их мощности. Общее количество типов электростанций и электроагрегатов общевойскового и специального назначения в зависимости от их мощности согласно Классификатору представлено на рис. 2.

Исходя из представленных данных, можно сделать вывод о том, что наибольшую часть автономных источников электроэнергии составляют элек-

троагрегаты и электростанции мощностью от 1 до 20 кВт. Даже в этом сравнительно небольшом диапазоне мощностей, согласно Классификатору электротехнических средств общевойскового назначения, насчитывается 55 типов данного вида техники.



а



б

Рис. 1. Распределение электростанций (а) и электроагрегатов (б) комплексов вооружения и военной техники в зависимости от мощности

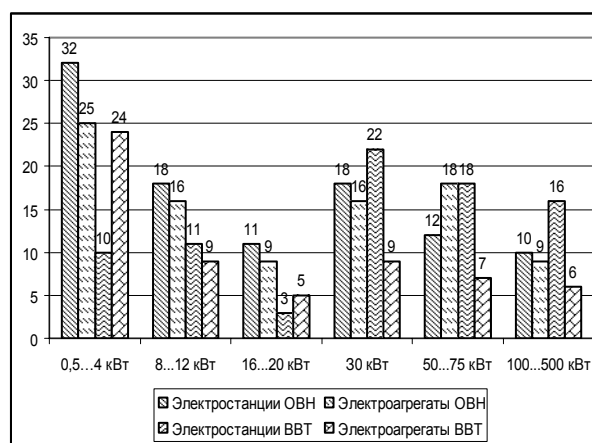


Рис. 2. Распределение по количеству марок электростанций и электроагрегатов общевойскового назначения и входящих в комплексы вооружения и военной техники

В отечественных автономных источниках электрической энергии для агрегатов мощностью до 16 кВт включительно используются бензиновые первичные двигатели, а, начиная с мощности, 10 кВт – дизельные. В тот же время, в армии США даже агрегаты мощностью 1 кВт оснащаются дизельными двигателями специальной конструкции с уменьшенным уровнем шума. Дизельный двигатель, как более экономичный и простой в эксплуатации, по сравнению с бензиновым двигателем, также должен внедряться для отечественных электрических агрегатов.

Очень часто имеет место использование одних и тех же электроагрегатов и электростанций по различному назначению. Так, например, агрегат АБ-1-0/230 используется в технике связи в кабине Р-405, в авиационной технике в агрегате АРП-6, в технике подразделений воспитательной работы в машине ПАК-66; агрегат АБ-1-П/30-М1 используется в кабине Р-142М техники связи, хотя в 12 комплексах войск связи используется такой же агрегат, но не с модифицированным двигателем; агрегат АБ-2-Т/230 используется в агрегатах РЭБ Р-359 и АРП-11.

Подобных примеров очень много, поэтому естественно уменьшить номенклатуру электроагрегатов, что позволит усовершенствовать систему организации ремонта и обеспечения ЗИП, создать универсальный запас для всех родов войск и комплексов вооружения и военной техники. Очевидно, что наибольший вклад в многообразие электроагрегатов и электростанций вносит градация мощности генератора. Поэтому, решая задачу унификации электроагрегатов и электростанций и уменьшая количество их типов, максимальный эффект можно получить, уменьшив их мощностной ряд. Однако, чем больше типов электроагрегатов, тем меньше стоимость вырабатываемой электроэнергии, поскольку в зависимости от требуемой мощности выбирается соответствующий тип электроагрегата. Однако, вместе с тем, увеличивается удельная стоимость каждого разрабатываемого электроагрегата, и, как следствие, увеличиваются удельные затраты на его эксплуатацию.

Указанное противоречие может быть преодолено путем выбора оптимального ряда мощностей электроагрегатов и выбора количества их типов, при котором общие затраты будут минимальными.

## Выводы

1. Одним из возможных направлений, реализация которого позволит снизить затраты на эксплуатацию техники, является разработка новых автономных источников энергии для комплексов специальной техники на базе дизельных первичных двигателей для всех номиналов мощности вместо бензиновых двигателей, которые используются в настоящее время. Второе направление связано с регламентацией модификаций войсковых электроагрегатов и электростанций, используемых в Вооруженных Силах Украины. Эффект здесь достигается за счет уменьшения затрат на эксплуатацию техники и на подготовку обслуживающего персонала. И в первом, и во втором случае необходимо обосновать ряд номинальных мощностей генераторов войсковых электроагрегатов и электростанций.

2. Задача выбора номенклатуры и мощностей войсковых электроагрегатов и электростанций для автономных систем электроснабжения военных объектов формулируется следующим образом: найти в условиях возможных ограничений численные значения параметров автономных источников электроэнергии, а также количественные характеристики электростанций (электроагрегатов) различных типов и марок, которые соответствовали бы оптимальному значению выбранного показателя эффективности как при выборе ряда стандартных мощностей автономных источников электроэнергии, так и при распределении их по типам и количеству для электроснабжения комплексов вооружения и военной техники.

## Список литературы

1. Борщ В.И. Оптимизация структур больших систем / В.И. Борщ, В.А. Донец, В.В. Коваль, А.Я. Лейбзон, И.П. Лесовой. – К.: Наук. думка, 2000. – 188 с.
2. Лэсдон Л. Оптимизация больших систем / Л. Лэсдон. – М.: Наука, 1991. – 448 с.
3. Чуев Ю.В. Исследование операций в военном деле / Ю.В. Чуев. – М.: Воениздат, 1970. – 256 с.

Поступила в редколлегию 24.02.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.Т. Кононов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## ТИПИ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВІЙСЬКОВИХ ОБ'ЄКТІВ

Г.І. Лагутін, О.Є. Ручка

У статті описуються основні існуючі військові електростанції і електроагрегати, використані в системах електропостачання комплексів озброєння і військовою.

**Ключові слова:** системи електропостачання, комплекси озброєння і військової техніки, пересувні електростанції, електроагрегати, оптимізація типажу і потужностей.

## TYPES OF AUTONOMOUS ELECTRIC ENERGY SOURCES ARE IN SYSTEMS OF ELEKTROSABZHENIYA OF MILITARY OBJECTIVES

G.S. Lagutin, A.E. Ruchka

Basic existent military power-stations and electro-aggregates, in-use in the systems of електроснабження of complexes of armament and military, are described in the article.

**Keywords:** systems of електроснабження, complexes of armament and military technique, movable power-stations, electro-aggregates, optimization of model and powers.