

**А.А. Абдуллин, Э.В. Лазарсон**  
**A.A. Abdyllin, E.V. Lazarson**

Пермский государственный технический университет  
Perm State Technical University

## **ВЫБОР МАРКИ ЭЛЕКТРОДА ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИИ ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ**

### **CHOOSING OF AN ELECTRODE BRAND FOR ARC WELDING USING THE DESIRABILITY FUNCTION**

На примере выбора оптимальной марки электрода, соответствующей типу Э46 по ГОСТ 9467–75, показана технология использования функции желательности как критерия оптимизации при решении многофакторных задач.

**Ключевые слова:** марка электрода, функция желательности.

Technology for using the desirability function as the optimization criterion for solving multivariate problems is investigated on the example of choosing the optimal mark electrode corresponding the type E46 GOST 9467-75.

**Keywords:** mark electrode, desirability function.

В технологии ручной дуговой сварки одной из основных характеристик процесса является рекомендуемая марка электрода. Известно, что для сварки конкретной марки материала можно, как правило, применить разные марки электродов одного типа. Это порождает проблему выбора оптимальной марки электрода из нескольких возможных. Каждая марка электрода характеризуется разными свойствами, и при оптимизации желательно улучшать все существенные свойства. В таких случаях часто ориентируются на комплексные критерии оптимальности, учитывающие совокупность свойств исследуемых объектов.

Одним из таких критериев является функция желательности. Теория и технология использования функции желательности при оптимизировании сложных многокритериальных объектов приводится в литературе [1, 2]. Под желательностью  $d$  понимают тот или иной желательный уровень параметра оптимизации, по которому разработана специальная шкала желательности. Величина  $d$  может меняться от 0 до 1. Шкала выглядит следующим образом:

- $d = 1,00$  – максимально возможный уровень качества;
- $1,00-0,80$  – допустимый и превосходный уровень качества (очень высокий уровень качества, которого также не всегда следует добиваться);
- $0,80-0,60$  – допустимый и хороший уровень качества (но все же выше того, которого реально добиваются);
- $0,60-0,37$  – допустимый и достаточный уровень качества;
- $0,37-0$  – недопустимый уровень качества.

При использовании функции желательности значения каждого из параметров оптимизации  $y$ , которых в задаче может быть несколько, переводят в соответствующие желательности  $d$ , после чего формируется так называемая обобщенная функция желательности  $D$ , представляющая собой среднее геометрическое желательностей отдельных параметров оптимизации:

$$D = \sqrt[q]{d_1 d_2 \dots d_q},$$

где  $q$  – число изучаемых параметров оптимизации.

Таким образом, обобщенная функция желательности оказывается единственным параметром оптимизации взамен многих. При использовании функции желательности возможны два варианта перевода значений параметра оптимизации в соответствующие желательности. Выбор варианта определяется видом ограничений, установленных для данного свойства.

Если эти ограничения односторонние, т.е. имеют вид  $y < y_{\max}$  или  $y > y_{\min}$ , то функция желательности выражается уравнением

$$d_i = e^{-y_i},$$

где  $y_i$  – безразмерное значение на оси абсцисс графика функции желательности, соответствующее желательности  $d_i$  и одновременно конкретному значению  $y_i$  исследуемого  $i$ -го параметра.

Если ограничения для свойства двусторонние, т.е. имеют вид  $y_{\min} < y < y_{\max}$ , функцию желательности удобно задавать выражением

$$d_i = e^{-(|y_i|)^n}.$$

Вид графиков двух упомянутых вариантов представления функции желательности показан на рис. 1.

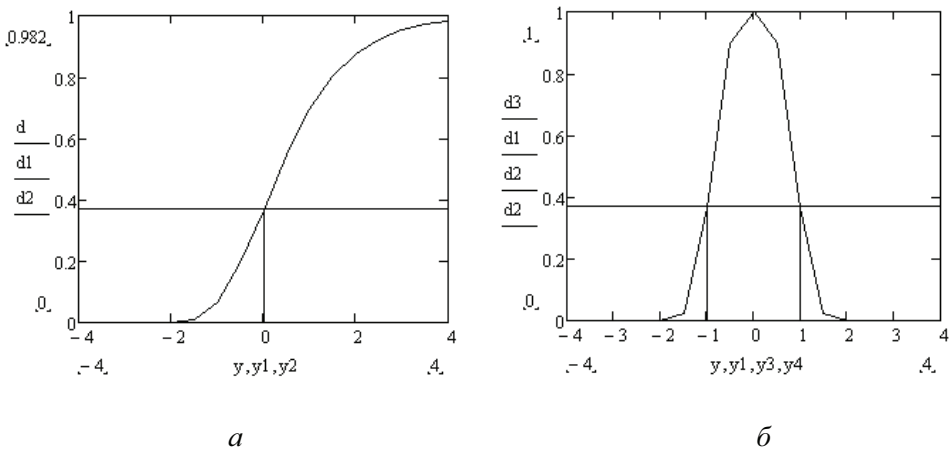


Рис. 1. Функция желательности: *а* – для односторонних ограничений; *б* – для двусторонних ограничений

Представим результаты решения задачи определения оптимальной марки электрода типа Э46 для ручной дуговой сварки стали 09Г2 с использованием функции желательности. В качестве учитываемых факторов были приняты четыре характеристики механических свойств электродов – предел прочности  $\sigma_b$ , предел текучести  $\sigma_{0,2}$ , относительное удлинение  $\delta$  и ударная вязкость КСУ.

При решении задачи необходимо исходить из свойств свариваемой стали и наплавленного металла электродов. Характеристики этих свойств приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Минимальные значения механических свойств металла**

Металл	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>
Основной металл сталь 09Г2	440	305	21	29–32*
Наплавленный металл электрода типа Э46	451	–	18	78**

\* КСУ при –40 °С, зависит от толщины металла.

\*\* КСУ при +20 °С.

Механические характеристики различных марок электродов типа Э46 приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Механические свойства наплавленного металла**

Марка электрода	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость, кДж/см <sup>2</sup>
По ГОСТ 9467–75	451	–	18	–
АНО-3	460	363	29	59
АНО-4	460	372	22	59
АНО-12	470	382	27	78
АНО-13	480	392	23	78
АНО-14	451	353	22	68
АНО-18	460	353	25	59
АНО-20	470	382	30	88
АНО-21	460	382	25	78
АНО-24	460	363	22	88
ЗРС-1	470	372	24	68
ЗРС-2	470	372	23	59
МР-1	470	372	25	98
МР-3	460	372	20	98

Марка электрода	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость, кДж/см <sup>2</sup>
ОЗС-3	480	343	22	68
ОЗС-4	451	372	20	78
ОЗС-6	470	343	20	59
ОЗС-12	470	314	22	59
ОЗС-21	451	363	25	78
РБУ-4	460	382	26	78
РБУ-5	460	372	21	78

Для использования функции желательности необходимо для каждого свойства электродов установить минимальный допустимый и максимально возможный уровни значений, соответствующие  $d = 0,37$  и  $d = 1$ . Принятые значения упомянутых величин сведены в табл. 3.

Таблица 3

### Пределные значения свойств металла

Свойства		$y_i$	$d_i$
Предел прочности $y_1$	min	440	0,37
	max	480	0,98
Предел текучести $y_2$	min	300	0,37
	max	390	0,98
Относительное удлинение $y_3$	min	20	0,37
	max	30	0,98
Ударная вязкость $y_4$	min	30	0,37
	max	98	0,98

При выборе интервала значений для предела прочности наплавленного металла исходили из того, что его значение не должно быть ниже аналогичного показателя основного металла и в то же время не должно быть слишком большим. Таким образом, по пределу прочности имеются двусторонние ограничения, соответствующие схеме на рис. 1, б. Для остальных трех свойств приняты односторонние ограничения (рис. 1, а), т.е. чем выше значения характеристик наплавленного металла, тем лучше.

По известной методике натуральные значения механических свойств наплавленного металла и электродов были переведены в соответствующие значения желательностей (рис. 2 и 3).

Результаты перевода натуральных значений четырех свойств наплавленного металла в безразмерные желательности  $d_i$  и расчета обобщенной функции желательности  $D$  для 20 рассмотренных марок электродов представлены в табл. 4.

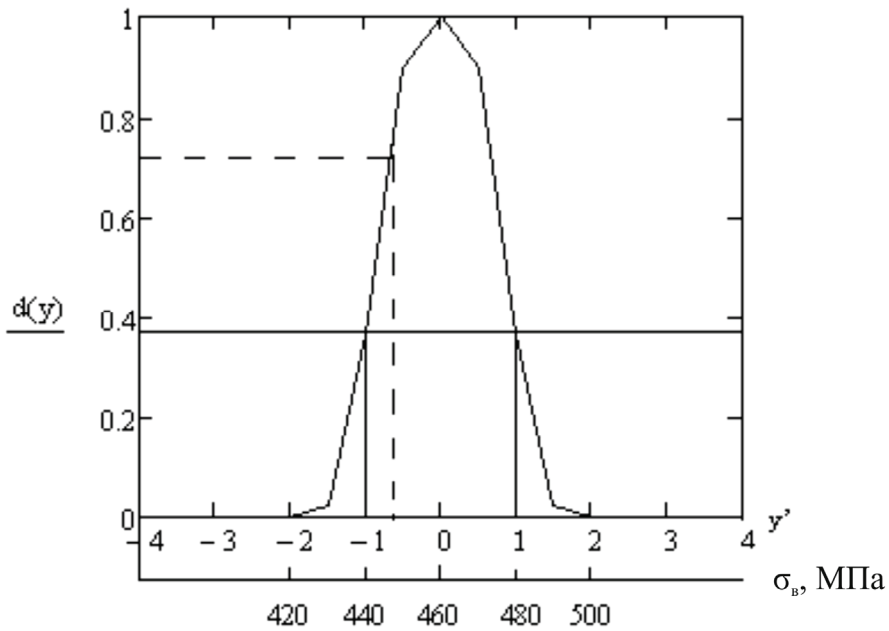


Рис. 2. Перевод значений предела прочности стали в желательность  $d_1$

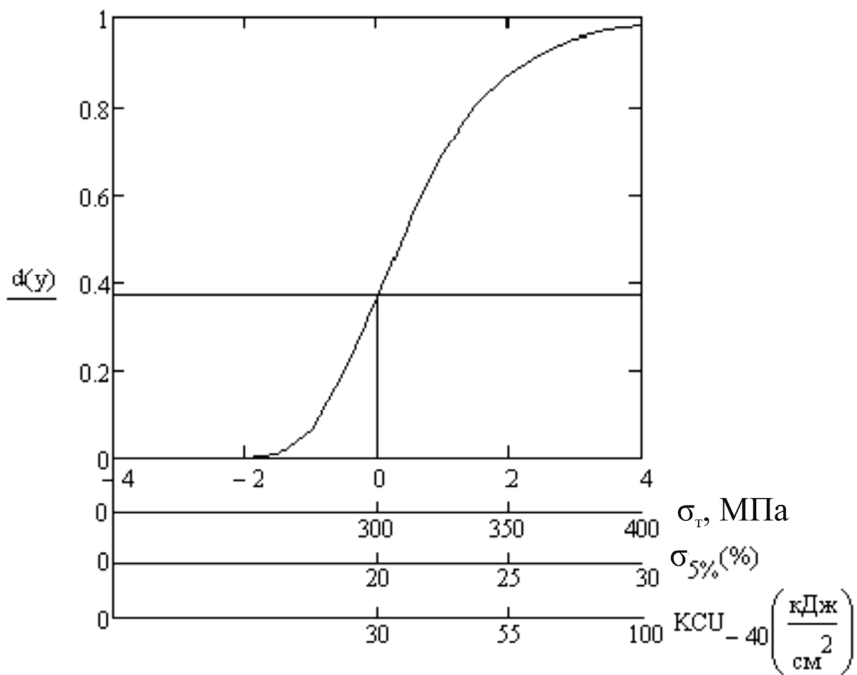


Рис. 3. Перевод предела текучести, относительного удлинения стали, ударной вязкости в соответствующие желательности  $d_2, d_3, d_4$

Таблица 4

## Перевод значений свойств металла в функции желательности

Марка электрода	Предел прочности		Предел текучести		Относительное удлинение		Ударная вязкость		$D$
	$y_1$ , МПа	$d_1$	$y_2$ , МПа	$d_3$	$y_1$ , %	$d_3$	$y_4$ , кДж/см	$d_4$	
АНО-3	460	1,00	363	0,95	29	0,97	59	0,83	0,935
АНО-4	460	1,00	372	0,96	22	0,65	59	0,83	0,848
АНО-12	470	0,77	382	0,97	27	0,95	78	0,94	0,904
АНО-13	480	0,37	392	0,98	23	0,74	78	0,94	0,709
АНО-14	451	0,78	353	0,91	22	0,65	68	0,90	0,803
АНО-18	460	1,00	353	0,91	25	0,88	59	0,83	0,903
АНО-20	470	0,77	382	0,97	30	0,98	88	0,96	0,915
АНО-21	460	1,00	382	0,97	25	0,88	78	0,94	0,946
АНО-24	460	1,00	363	0,95	22	0,65	88	0,96	0,877
ЗРС-1	470	0,77	372	0,96	24	0,82	68	0,90	0,859
ЗРС-2	470	0,77	372	0,96	23	0,74	59	0,83	0,821
МР-1	470	0,77	372	0,96	25	0,88	98	0,98	0,894
МР-3	460	1,00	372	0,96	20	0,37	98	0,98	0,768
ОЗС-3	480	0,37	343	0,87	22	0,65	68	0,90	0,659
ОЗС-4	451	0,78	372	0,96	20	0,37	78	0,94	0,714
ОЗС-6	470	0,77	343	0,87	20	0,37	59	0,83	0,673
ОЗС-12	470	0,77	314	0,60	22	0,65	59	0,83	0,706
ОЗС-21	451	0,78	363	0,95	25	0,88	78	0,94	0,885
РБУ-4	460	1,00	382	0,97	26	0,91	78	0,94	0,911
РБУ-5	460	1,00	372	0,96	21	0,52	78	0,94	0,828

Полученные данные позволяют провести ранжирование исследованных марок электродов. Максимальное значение функции желательности получено для электрода АНО-21. Далее в порядке убывания  $D$  следуют электроды марок АНО-3, АНО-20, РБУ-4 и АНО-12.

Сделаем следующие выводы:

1. Выбор марки электрода для ручной дуговой сварки является типичной задачей, в которой необходимо учитывать значение нескольких свойств анализируемых объектов.

2. Расчет значений функции желательности для всех рассматриваемых вариантов позволяет не только найти оптимальное решение, но и ранжировать все остальные, что расширяет возможность учета влияния дополнительных факторов.

3. При назначении используемых в расчетах пороговых значений уровней качества свойств объектов (наихудшего, допустимого и достаточного, максимально достижимого) и шкал натуральных значений свойств необходимы профессиональные знания постановщиков задач.

## Список литературы

1. Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. – М.: Машиностроение; София: Техника, 1980. – 304 с.

2. Harrington E. The desirability function // Industrial Quality Control. – 1965. – Vol. 21. – №. 10. – P. 494–498.

3. Закс И.А. Электроды для дуговой сварки сталей и никелевых сплавов. – СПб.: WELCOME, 1996. – 381 с.

Получено 3.03.2011