



УДК 669.187.004.18

## О ТЕХНИКО-КОММЕРЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ АРМАТУРЫ\*

В. В. Жуков, И. В. Ус

Сделана попытка оценить эффективность применения биметаллической арматурной стали в ответственных железобетонных конструкциях. Показано, что эффективность ее применения связана с сокращением продолжительности ремонтов железобетонных сооружений.

Attempts were made to evaluate the effectiveness of application of bimetal reinforcing steel in critical ferroconcrete structures. It is shown that effectiveness of its application is connected with a reduction in repair works of ferroconcrete constructions.

**Ключевые слова:** арматурная сталь; биметаллы; электрошлаковая наплавка

Проблемы долговечности ответственных железобетонных сооружений, например мостов, имеют разноплановый характер и связаны, в частности, с разрушением железобетонных элементов из-за коррозии арматурной стали.

Существуют различные способы предотвращения коррозии (нанесение защитных покрытий, электрохимическая защита и пр.) [1], применение которых в той или иной мере позволяет продлить срок эксплуатации железобетонных строений. Их использование, однако, связано с определенными сложностями и прежде всего со спецификой каждого способа.

За последнее время в мире возрос интерес к применению арматуры из нержавеющей стали. В Европе и Северной Америке существуют 11 фирм, занимающихся ее изготовлением и реализацией («Tell Steel», Long Beach, California, USA; «Dunkirk Specialty Steel Inc.», Dunkirk, New York, USA; «Acciaierie Valbruna Spa», Vicenza, Italy; «Valbruna Canada Ltd.», Milton, Ontario, Canada; «Outokumpu Stainless Ltd.», Sheffield, UK; «Denman & Davis Slatersville», Rhode Island, USA; «Talley Metals», A Carpenter Company Hartsville, SC, USA; «Cogne Acciai Speciali Spa», Aosta, Italy; «Salit Specialty

Rebar», Niagara Falls, N.Y. U.S.A., Niagara Falls, ON. Canada; «Firth Rixson», Ecclesfield, Sheffield, England; «Ugitech Groupe Arcelor», Ugine, France). Сотрудники фирм-производителей полагают, что строение, возведенное с применением нержавеющей арматуры, способно простоять 75 лет. Судя по публикациям, такой вид арматуры уже включен в систему стандартов США (ASTM A-955M) [2].

Изготовление арматурного профиля полностью из нержавеющей стали стоит очень дорого (табл. 1) [3], что обусловлено большой стоимостью материалов.

В большинстве случаев, когда от изделия требуется коррозионная стойкость, нет необходимости изготавливать его целиком из нержавеющей сплава. Достаточно защитить рабочую поверхность от контакта с коррозионной средой тонким коррозионно-стойким слоем. Поэтому в последнее время в США реализована идея получения и применения биметаллической арматурной стали, срок службы которой представлен в табл. 1 [3].

Пионером в изготовлении биметаллической арматуры стала американская фирма «Stelax», а сама биметаллическая арматура названа Nuovinox®.

По данным фирмы «Stelax», биметаллическая арматура Nuovinox® имеет толщину защитного слоя 0,8...1,0 мм. Для прутка диаметром 16 мм со слоем коррозионно-стойкой стали 1 мм соотношение массы нержавеющей стали/обычная сталь составляет

\* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук Л. Б. Медовара.



Таблица 1

Тип арматурного профиля	Соотношение стоимости	Средний срок службы конструкции до первого ремонта, лет
Углеродистая сталь	1,0	8–20
Прутки углеродистой стали, покрытый эпоксидной смолой	1,5	13–25
Профиль, покрытый тонким слоем из нержавеющей стали	3,0	75
Профиль из нержавеющей стали	6,5	75

около 0,25/0,75. В табл. 2 представлены результаты расчета стоимости биметаллической арматуры при разных соотношениях нержавеющей стали и обычной в общей массе биметаллической арматурной стали.

Данные табл. 1 и 2 отличаются. Вероятно, эта разница обусловлена затратами на изготовление композитного изделия и связана с технологией производства.

Следует отметить, что при производстве биметаллических полуфабрикатов (листов, сортового проката, труб, различного рода профильного проката и т. п.) опробованы различные технологические процессы, привлечены все способы обработки давлением, литейные технологии, электродуговая и электрошлаковая наплавка, сварка взрывом, электронно-лучевая технология, электрохимические способы, плазменное и другие способы напыления.

Особое место среди многочисленных процессов получения различных видов биметаллов и биметаллических изделий занимают способы, основанные на электрошлаковых технологиях, применение которых обеспечивает надежное соединение плакирующего и основного слоев [4], что особенно важно для биметаллической арматуры. Поэтому в ИЭС им. Е. О. Патона возникла идея применения электрошлаковой наплавки жидким металлом для получения такой арматурной стали.

В настоящей работе на основании предположения о технической целесообразности и возможности применения электрошлаковой наплавки для получения биметаллических заготовок под прокатку биметаллической арматурной стали сделана попытка спрогнозировать экономическую эффективность создания и использования такой арматуры, получаемой в результате сокращения продолжительности ремонтов железобетонных сооружений и связанных с этим потерь.

Еще одним аргументом в пользу создания указанной технологии является декларируемый новым правительством курс на Европу и присоединение Украины ко Всемирной торговой организации (ВТО) уже осенью 2005 г. Это означает, что вероятность введения на территории нашей страны европейских и мировых стандартов качества весьма

Таблица 2

Сталь, %		Относительная стоимость 1 т обычной арматуры, усл. ед.
нержавеющая	арматурная	
0,00	1,00	1,00
0,20	0,80	2,10
0,25	0,75	2,375
0,30	0,70	2,61
0,40	0,60	3,20
0,50	0,50	3,75

высока. Напомним, что установление единой системы стандартизации является одним из основных условий ВТО. С учетом факта использования биметаллической арматуры в странах Европы не исключено, что она войдет в упомянутый стандарт качества.

Поэтому отсутствие навыков изготовления и применения биметаллической арматуры приведет к ослаблению конкурентоспособности наших металлургических заводов, производящих арматуру.

Реализация проекта создания производства отечественной биметаллической арматурной стали связана с наличием двух видов рисков.

Рассмотрим основанный на вероятностно-статистическом моделировании подход к оценке инновационных рисков, рекомендуемый Институтом высоких статистических технологий и эконометрики.

*Модель инновационного проекта.* Начнем с выделения основных факторов, определяющих риски реализации инновационного проекта (риск разработки и риск внедрения).

Основная формула математической модели расчета рисков реализации инновационной модели имеет следующий вид:

$$P = P_1 P_2,$$

где  $P$  — вероятность полного успеха, т. е. результата, при котором ни один из перечисленных факторов риска не окажет существенного негативного влияния на реализацию проекта;  $P_1$  — вероятность того, что риски, связанные с разработкой, не помешают выполнению инновационного проекта (следовательно, риск оценивается величиной  $1 - P_1$ );  $P_2$  — вероятность того, что риски связанные с внедрением, не помешают выполнению инновационного проекта ( $1 - P_2$  — риск внедрения).

Следующим шагом будет оценка двух указанных вероятностей. Приблизим их с помощью линейных функций, т. е. представим в виде

$$P_n = 1 - A_{1n}X_{1n} - A_{2n}X_{2n},$$

где  $n$  — индекс, принимающий одно из значений (1 или 2);  $X_{1n}, X_{2n}$  — факторы (переменные), используемые при вычислении оценки риска типа  $n$ ;  $A_{1n}, A_{2n}$  — коэффициенты весомости (важности) этих факторов.



Значения факторов  $X_{1n}, X_{2n}$ , как и коэффициентов весомости  $A_{1n}, A_{2n}$ , оцениваем для каждого конкретного инновационного риска.

Оценка фактора  $X_{mn}$  по качественной шкале:

- 0 — практически невозможное событие;
- 1 — крайне маловероятное событие;
- 2 — маловероятное событие;
- 3 — событие с вероятностью, которой нельзя пренебречь;
- 4 — достаточно вероятное событие;
- 5 — событие с заметной вероятностью.

Поскольку максимально возможный балл составляет 5, то сумма всех весовых коэффициентов выбиралась как  $1/5 = 0,2$ . Таким образом, если по всем факторам (переменным) выставлены максимальные баллы, то соответствующая вероятность оценивается как 0, т. е. выполнение инновационного проекта признается невозможным.

Для упрощения описания переменные  $X_{m1}$  будем ниже обозначать как  $X_m$ , переменные  $X_{m2}$  — как  $Y_m$ .

**Риск разработки.** Начнем с оценивания  $P_1$  — вероятности того, что ситуация внутри коллектива исполнителей не помешает выполнению инновационного проекта. Введем следующие переменные:

$X_1$  — на выполнении инновационного проекта скажется отсутствие необходимых технологий;

$X_2$  — на выполнении работы скажется отсутствие необходимой аппаратуры;

$X_3$  — на выполнении работы скажется отсутствие достаточного количества сырья.

Экспертный опрос дал следующие значения коэффициентов:

$$A_1 = 0,05; A_2 = 0,05; A_3 = 0,1.$$

**Пример 1.** Если итоговая оценка экспертов  $X_1 = 1; X_2 = 1; X_3 = 1$ , то  $P_1 = 1 - A_1X_1 - A_2X_2 - A_3X_3 = 1 - 0,05 - 0,05 - 0,1 = 1 - 0,2 = 0,8$ .

Таким образом, в данном случае вероятность успеха составляет 80 %.

**Риск внедрения.** Для оценивания  $P_2$  введем следующие переменные:

$Y_1$  — на возможности выполнения инновационного проекта скажется отсутствие поставки технологии на конвейер;

$Y_2$  — на возможности выполнения инновационного проекта скажется несовместимость с железобетонными конструкциями;

$Y_3$  — на возможности выполнения инновационного проекта скажется отсутствие спроса на данную продукцию.

**Пример 2.** Если итоговые (групповые) оценки экспертов  $Y_1 = 1; Y_2 = 1; Y_3 = 1$ , а коэффициенты весомости  $A_1 = 0,05; A_2 = 0,05; A_3 = 0,1$ , то  $P_2 = 1 -$

$- A_1Y_1 - A_2Y_2 - A_3Y_3 = 1 - 0,05 - 0,05 - 0,1 = 0,80$ . Таким образом, вероятность успеха составляет 80 %.

**Итоговые оценки.** Сведем вместе полученные результаты. Вероятность успешного выполнения инновационного проекта с учетом рисков, связанных с разработкой и внедрением, оценивается по формуле

$$P = P_1P_2,$$

где  $P_1 = 1 - 0,05X_1 - 0,05X_2 - 0,1X_3; P_2 = 1 - 0,05Y_1 - 0,05Y_2 - 0,1Y_3; P = 0,8 \times 0,8 = 0,64$ .

Таким образом, вероятность успеха с учетом рисков, связанных с разработкой и внедрением продукции, составляет 64 %. Проанализировав риски, проведем сравнительный анализ затрат на изготовление и ремонт железобетонных конструкций. Рассмотрим три варианта возведения строений: с обычной арматурой; биметаллической и из нержавеющей стали.

$$E_1 = X + Y + 3Z;$$

$$E_2 = X + 3Y + Z;$$

$$E_3 = X + 6,5Y + Z,$$

где  $E_1, E_2, E_3$  — затраты на строительство и ремонт железобетонной конструкции;  $X$  — затраты на строительство железобетонной конструкции;  $Y$  — стоимость арматуры;  $Z$  — затраты на ремонт железобетонных конструкций и связанные с ним издержки (потери от простоя путей/проводов и т. п.).

Несомненно, что без учета фактора  $Z$  будет  $E_3 > E_2 > E_1$ . Однако наиболее весомым фактором является именно  $Z$ . Таким образом, можно сделать вывод о том, что  $E_1 > E_3 > E_2$ .

Итак, возведение конструкций с применением биметаллической арматуры является более дешевым, чем с обычной или нержавеющей. Безусловно, не стоит ожидать позитивных результатов в ближайшее время, однако в перспективе они очевидны.

1. *Коррозия и защита конструкционных материалов*: Сб. ст. / Под ред. Н. Д. Томашева. — М.: Машгиз, 1961. — 261 с.
2. <http://www.dunkirkspecialtysteel.com/>
3. <http://www.stelax.com/>
4. *О перспективах производства биметалла с применением электрошлакового процесса* / Б. Е. Патон, Л. Б. Медовар, В. Я. Саенко // *Соврем. электрометаллургия*. — 2004. — № 4. — С. 5-9.
5. *Орлов А. И.* Эконометрика: Учеб. для вузов. — М.: Экзамен, 2003. — 576 с.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев

Ин-т мировой экономики и международных отношений

НАН Украины, Киев

Поступила 19.04.2005