

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫБОРА ВАРИАНТА ИНЖЕНЕРНОГО РЕШЕНИЯ

Бережная Е. В., Чепель Ю. А., Мартыновская Е. В.

Разработка проекта процесса сварки (сборки, сборки – сварки, наплавки), как всякая техническая задача характеризуется многовариантностью возможных решений. Наиболее целесообразный вариант, из числа возможных, в практике выбирают на основе технико-экономического их сравнения. Поэтому техническую оценку сравниваемых вариантов технологии производства всегда заполняют их экономической оценкой. Разработан метод выбора оптимального варианта инженерного решения на стадии технико-экономического обоснования. Описанная последовательность анализа реализована соответствующей программой для ПЭВМ. В качестве результата расчета, выполняемого в диалоговом режиме, получаем: таблицу исходных данных, таблицу по статьям технологической себестоимости каждого из вариантов, таблицы результатов и графическая интерпретация сравнения вариантов.

Розробка проекту процесу зварювання (зборки, збирання-зварювання, наплавлення), як всяка технічна задача характеризується багатоваріантністю можливих рішень. Найбільш доцільний варіант, з числа можливих, у практиці вибирають на основі техніко-економічного їх порівняння. Тому технічну оцінку порівнюваних варіантів технології виробництва завжди заповнюють їх економічною оцінкою. Розроблено метод вибору оптимального варіанту інженерного рішення на стадії техніко-економічного обґрунтування. Описана послідовність аналізу реалізована відповідною програмою для ПЕОМ. В якості результату розрахунку, виконаного в діалоговому режимі, отримуємо: таблицю вихідних даних, таблицю за статтями технологічної собівартості кожного з варіантів, таблиці результатів і гранична інтерпретація порівняння варіантів.

Development of the project of the welding process (assembly, assembly, welding, surfacing), as any technical problem is characterized with multivariance possible solutions. The most suitable option from the cart-sible in practice is selected based on the feasibility of comparison. Therefore, the technical evaluation compared alternatives production technology always fill their economic evaluation. In developed a method for selecting the optimal variant of engineering solutions at the stage of feasibility study. Described sequence analysis implemented the appropriate program for the PC. As a result of calculations performed interactively obtain the original data table, the table on articles technological cost of each option, the table of results and graphical interpretation compare options.

Бережная Е. В.

канд. тех. наук каф. ОиТСП ДГМА
elena_kassova@mail.ru

Чепель Ю. А.

аспирант каф. ПТМ ДГМА
yuliya.chepel.70@mail.ru

Мартыновская Е. В.

аспирант каф. ПТМ ДГМА
martynovskaya.elena@mail.ru

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

УДК621.791

Бережная Е. В., Чепель Ю. А., Мартыновская Е. В.**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫБОРА ВАРИАНТА ИНЖЕНЕРНОГО РЕШЕНИЯ**

Разработка проекта процесса сварки (сборки, сборки-сварки, наплавки), как всякая техническая задача характеризуется многовариантностью возможных решений. Наиболее целесообразный вариант, из числа возможных, в практике выбирают на основе технико-экономического их сравнения [1].

Даже для сравнительно простых сварных узлов может быть разработано несколько технологических процессов, полностью обеспечивающих требования рабочего чертежа и технических условий. Применительно к сварочному производству технические преимущества и недостатки сравниваемых вариантов технологических процессов подлежат оценке по присущим каждому их значениям указанных ниже основных характеристик и показателей [2]:

- прогрессивность технологического процесса, определяемая высокими производительностью, уровнем механизации и автоматизации, качеством заданной продукции при обеспечении безопасности и экологической безвредности выполняемых работ;
- длительность производственного цикла;
- габаритные размеры и масса необходимого технологического оборудования;
- площадь участка цеха, необходимые для организации производственного процесса;
- требуемое число рабочего и обслуживающего персонала для изготовления данной продукции при одной и той же программе выпуска;
- удельная производительность технологии изготовления заданной продукции, определяемая показателями ее годового выпуска на одного рабочего и на 1 м² производственной площади [3–5].

Результатов сопоставления между собой сравниваемых вариантов технологии производства заданной продукции по перечисленным выше техническим характеристикам и показателям еще недостаточно для определения оптимального варианта. Последний может быть выявлен путем экономического анализа наиболее прогрессивных и конкурирующих между собой в техническом отношении вариантов [6].

Поэтому техническую оценку сравниваемых вариантов технологии производства всегда заполняют их экономической оценкой [7]. Только комплексное рассмотрение перечисленных выше вопросов способствует в современных условиях работу оптимального варианта, являющегося применительно к заданной программе выпуска изделий наиболее рациональным в техническом и наиболее рентабельным в экономическом отношении [8].

Цель работы – разработка метода выбора оптимального варианта инженерного решения на стадии технико-экономического обоснования.

Критерием оптимальности при выборе варианта инженерного решения является минимальная величина годовых приведенных затрат:

$$\begin{aligned} Z_1 &= C_1 + E_n K_1; \\ Z_2 &= C_2 + E_n K_2; \\ Z_n &= C_n + E_n K_n, \end{aligned} \quad (1)$$

где Z_1, \dots, Z_n – приведенные затраты по вариантам, грн; C_1, \dots, C_n – технологическая себестоимость годовой программы, грн; K_1, \dots, K_n – капитальные вложения в производственные фонды, грн; E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; $E_n K$ – сумма ежегодных погашений капитальных вложений, грн/год; n – количество сравниваемых вариантов.

В общем случае в состав капитальных вложений входят затраты на проектирование нового технологического процесса, специального технологического оборудования, его изготовление и монтаж; затраты на приобретение, доставку и монтаж сварочного и механического (колонны, тележки, роликовые стенды, кантователи, вращатели, манипуляторы, транспортеры, рольганги и т. п.) оборудования; затраты на приобретение необходимого производственного инструмента и хозяйственного инвентаря; стоимость строительства новых производственных площадей и т. д. Однако, на стадии разработки ТЭО возможно включение в капитальные затраты K только стоимости покупного сварочного и механического оборудования с учетом доставки, монтажа и, при необходимости модернизации, специальной технологической оснастки K_0 :

$$K = K_n + K_0. \quad (1)$$

Первоначальная стоимость оборудования включает затраты на его приобретение, транспортировку, монтаж и модернизацию (при необходимости ее проведения):

$$K_n = \sum_{i=1}^{i=n_1} K_{n_i} = \sum_{i=1}^{i=n_1} C_i \cdot \left(\frac{\alpha_{Tm_i} + \alpha_{Mod_i}}{100} + 1 \right), \quad (2)$$

где C_i – цена единицы оборудования; $\alpha_{Tm_i}, \alpha_{Mod_i}$ – соответственно затраты на транспортировку, монтаж и модернизацию в процентах от цены оборудования.

Первоначальная стоимость оборудования базового варианта определяется согласно данным предприятия. Таким же образом определяются затраты на технологическую оснастку согласно базового варианта.

При отсутствии цен на сборочно-сварочную оснастку и другие элементы нетипового механического оборудования стоимость их может определяться тремя способами:

- умножением массы приспособления (или другого нетипового механического оборудования) на стоимость единицы массы, установленную по данным на аналогическую оснастку на заводах, в проектах;
- составлением сметных калькуляций;
- по структурным соотношениям.

При установлении стоимости единицы массы технологической оснастки следует всегда учитывать степень сложности последней.

Сметная калькуляция изготовления технологической оснастки включает следующие статьи:

$$K_0 = M + П + З_0 + З_д + O_c + Ц_p + З_p, \quad (3)$$

где M – стоимость материалов (за вычетом отходов); $П$ – стоимость покупных изделий; $З_0$ – заработная плата основная; $З_д$ – заработная плата дополнительная; O_c – отчисления на соцстрах; $Ц_p, З_p$ – соответственно, цеховые и общезаводские расходы.

Для ориентировочной оценки себестоимости проектируемой оснастки можно воспользоваться следующей формулой:

$$K_o^{np} = \frac{M_o^{np}}{M_o^{баз}} \cdot (K_o^{баз} \cdot П^{баз}) + П^{np}, \quad (4)$$

где $M_o^{np}, M_o^{баз}$ – стоимость материалов, идущих на изготовление базовой и проектируемой оснастки; $П^{баз}, П^{np}$ – стоимость покупных деталей и изделий в базовой и проектируемой оснастке; $K_o^{баз}, K_o^{np}$ – себестоимость базовой и проектируемой оснастки.

Следует помнить, что при определении стоимости оснастки при помощи зависимости (3), необходимо сопоставлять с базовой моделью аналогичной сложности.

Технологической себестоимостью называется сумма издержек производства по тем статьям, по которым эти издержки различны для сопоставимых вариантов.

Все элементы себестоимости в отношении влияния на них программы выпуска (масштаба производства) могут быть разбиты на две группы:

- относительно-переменные (\vec{V}), их годовой объем пропорционален величине программы;
- относительно – постоянные (\vec{W}), их годовой объем практически не зависит от величины программы (в пределах одного рабочего места).

Общая сумма годовых расходов на всю программу составит:

$$C = W + V \cdot N. \quad (5)$$

Применительно к сборочно-сварочному производству к переменным расходам относятся в том числе и расходы на основные материалы (если изменяется норма расхода в связи с внедрением нового технологического процесса), так как расходы на основные материалы могут достигать значительных величин, несколько затрудняя как количественный, так и качественный анализ, то в технологической себестоимости проектного варианта целесообразно учитывать только изменение этих затрат ($\pm P_{M_0}$, знак «+» учитывает возможное увеличение, а знак «-» – снижение этих расходов); в случае же базового варианта эта статья расходов исключается; затраты на вспомогательные материалы – P_{M_c} (сварочную проволоку, электроды, флюс, защитные газы и т. д., если эти затраты различны по сравниваемым вариантам); энергетические затраты $P_э$ на технологическую электроэнергию, сжатый воздух природный газ, кислород, воду, пар и т. д. (если какой-то из этих компонентов участвует в техпроцессе одного из вариантов, а в другом нет, или изменилась норма расхода);

- относительно-переменная часть затрат на текущий ремонт и содержание оборудования P_V .

Таким образом, учитывая особенности сборочно-сварочного производства, переменные расходы могут быть записаны в виде следующей суммы:

$$V = 3_o + 3_d + O_c \pm P_{M_0} + P_{M_c} + P_э + P_V. \quad (6)$$

Первые шесть слагаемых выражения (6) рассчитываются согласно принятых методик, а относительно-переменную часть затрат на текущий ремонт и содержание оборудования предполагается определять, как функцию затрат на амортизацию оборудования и производительности данного рабочего места.

$$P_V = \frac{0,2 \cdot A \cdot T_{um}}{F_0 \cdot K_з \cdot K_г \cdot \sigma}, \quad (7)$$

где A – суммарная амортизация оборудования, гривна (грн); T_{um} – норма времени на выполнение работ на данном рабочем месте, чел.-ч.; F_0 – действительный годовой фонд времени работы оборудования, ч; $K_з$ – коэффициент загрузки оборудования данного рабочего места; $K_г$ – коэффициент выполнения норм на данном рабочем месте; δ – количество рабочих, обслуживающих данное рабочее место.

К постоянным расходам W в данном случае относятся:

- амортизация A специального оборудования и технологической оснастки;
- относительно постоянная часть расходов на ремонт и содержание оборудования P_w .

Следовательно

$$W = A + P_w. \quad (8)$$

Затраты на текущий ремонт и содержание оборудования составляют примерно 80 % от затрат на амортизацию, причем 80 % состава этих затрат являются относительно-постоянными. Более точное соотношение между затратами на амортизацию и текущий ремонт и относительно-постоянной частью затрат на текущий ремонт можно определить по формуле:

$$P_W = 0,8\alpha \cdot A, \quad (9)$$

где α – коэффициент отношения расходов по содержанию и ремонту к амортизации.

Легко видеть, что формула (5) представляет собой уравнение прямой в системе координат C, N . При этом величина отсекаемого этой прямой отрезка на оси ординат численно равна сумме постоянной части технологической себестоимости годового выпуска продукции (рис. 1).

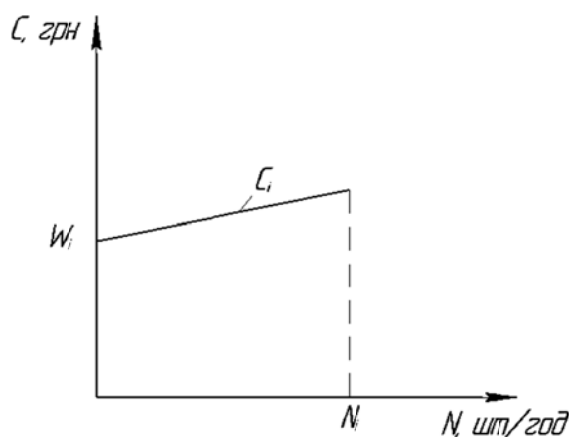


Рис. 1. Зависимость технологической себестоимости от количества годового выпуска с при постоянном парке производственного оборудования

Указанный характер изменения величины технологической себестоимости от количества N изделий будет действительным только в пределах постоянного состава парка оборудования. По мере увеличения годовой программы загрузки этого оборудования будет возрастать. После достижения 100 %-ной загрузки (при $N = N_{max}$) предусмотренного комплекта оборудования его пропускная способность будет исчерпана. Для дальнейшего увеличения программы годового выпуска продукции (от N_{max} до $2 N_{max}$) потребуется соответствующее увеличение парка оборудования. Если для этого случая предусмотреть установку второго такого же комплекта оборудования, то постоянная составляющая в формуле (5) увеличится вдвое, а средний коэффициент загрузки двух комплектов оборудования составит сперва $K_3 = 50\%$ С дальнейшим увеличением годового выпуска продукции технологическая себестоимость ее будет прямолинейно возрастать.

После исчерпания пропускной способности этого оборудования (100 %-ная загрузка) снова потребуется увеличение парка оборудования. Т. е. при программе $N = 2 \cdot N_{max} + 1$ условно-постоянные расходы составят $3W$. По мере дальнейшего увеличения годового выпуска продукции технологическая себестоимость ее будет опять прямолинейно возрастать и т. д.

В результате зависимость технологической себестоимости (следовательно, и приведенных затрат) от изменяющегося в широких пределах годового выпуска продукции имеет ступенчатый характер (рис. 2).

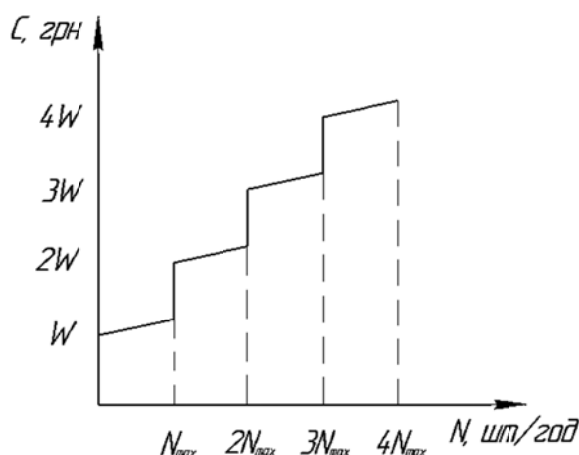


Рис. 2. Зависимость технологической особенности от количественного годового выпуска при увеличении парка производственного оборудования в связи с планируемым ростом выпуска продукции

При сравнении двух различных вариантов техпроцесса, возможно, что соответствующие им зависимости $C_1 = f_1(N)$ и $C_2 = f_2(N)$ не пересекутся, либо пересекутся в некоторой точке.

В первом случае все ординаты прямой одного варианта, будут меньше ординат прямой другого варианта. Следовательно, вариант, отличающийся меньшими ординатами соответствующей ему прямой, экономически целесообразен.

Во втором случае, т. е. при пересечении вариантов в некоторой точке (рис. 3), эта точка соответствует такому значению годового выпуска, при котором годовые приведенные затраты по обоим вариантам проекта одинаковы и, следовательно, оба сравниваемых варианта в экономическом отношении равны.

Для всех значений планируемого годового выпуска изделий большая экономическая эффективность будет соответствовать варианту, ординаты прямой которого будут меньше. Т. е. согласно графика (см. рис. 3) при заданной программе годового выпуска $N_i < N_{кр}$ большей экономической эффективностью отличается первый вариант проекта.

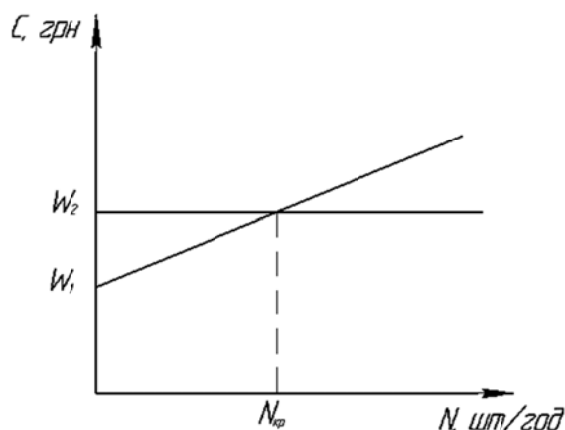


Рис. 3. Графический способ сравнения экономической эффективности двух вариантов, различающихся различной технологией производства продукции.

В тех случаях, когда изменение себестоимости продукции, произведенной по базовому варианту, имеет характер, изображенный на рис. 2 и 4, определение критической программы возможно только графическим путем, что является трудоемким и длительным процессом.

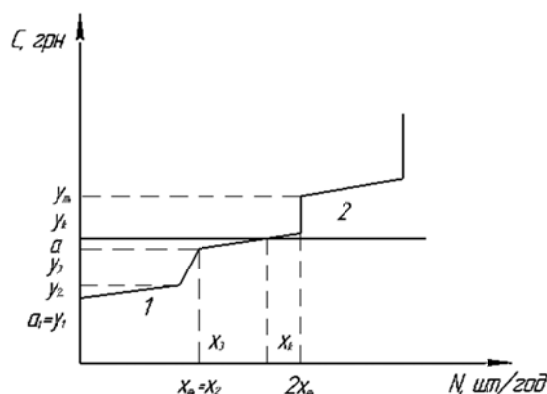


Рис. 4. Графическое определение критической программы

Изменение себестоимости базового варианта может быть описано ломаной, прямолинейные участки которой описываются уравнениями прямых:

- на участке 1:

$$y = y_1 + b_1 \cdot (x - x_1), \quad (10)$$

где $b_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = V_1$;

- на участке 2:

$$y = y_2 + b_2 \cdot (x - x_2), \quad (11)$$

где $b_2 = \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2} = W_1$.

Изменение себестоимости проектируемого варианта описывается прямой:

$$y = a + bx, \quad (12)$$

где $a = W$; $b = V$.

Критическая программа имеет место в точке пересечения прямой, соответствующей проектируемому варианту, и ломаной, соответствующей базовому варианту. Для нахождения точки пересечения следует решить систему уравнений:

$$\begin{cases} y = y_1 + b_1 \cdot (x - x_1) \\ y = a + bx \end{cases}, \quad (13)$$

где x лежит в интервале $x_1 < x < x_2$.

Решение системы (13) имеет вид:

$$x = \frac{a + b_1 x_1 - y_1}{b_1 - b}. \quad (14)$$

Если же в интервале $x_1 < x < x_2$ функции $C_1 = f_1(x)$ и $C_2 = f_2(x)$ не имеют общего решения (нет пересечения), то $N_{kp} > x_m$. Следовательно, следует искать пересечения прямых $y = a + bx$ и $y = y_2 + b_2(x - x_2)$. Т. е. в этом случае, следует решить систему уравнений:

$$\begin{cases} y = a + bx; \\ y = y_2 + b_2(x - x_2), \end{cases} \quad (15)$$

где x лежит в интервале $x_2 < x < x_3$.

Решение системы (15) имеет вид:

$$x = \frac{a + b_2 x_2 - y_2}{b_2 - b}. \quad (16)$$

Если и в этом случае не произошло пересечения прямой и ломаной, повторяем описанные выше действия, заменив:

$$\begin{aligned} x_1 &= x_2 = x_m + 1; \\ x_2 &= 2x_{m_1}; \\ x_3 &= 2x_{m_1} + 1. \end{aligned} \quad (17)$$

Таким образом, можно организовать цикл, количество повторений которого равно $n = \frac{x_{m_2}}{x_{m_1}}$, а переменные цикла соответственно равны:

$$\begin{aligned} x_1 &= x_{m_1} \cdot (i - 1) + 1 \text{ при } i > 1; \\ x_1 &= 0 \text{ при } i = 1, \end{aligned}$$

где i – счетчик цикла;

$$\begin{aligned} x_2 &= x_{m_1} \cdot i; \\ x_3 &= x_{m_1} + 1. \end{aligned}$$

Таким образом, в результате расчета получаем значение критической программы, при которой имеет место равенство приведенных затрат по вариантам.

Экономическая оценка полученных результатов заканчивается расчетами годового экономического эффекта и эффективности дополнительных капвложений.

Максимальный годовой экономический эффект от применения нового технического решения определяется как разность приведенных затрат при программе N_{max2} , внедряемого варианта:

$$\Delta C = \Delta C - E_H \cdot (K_2 - K_1 \cdot n_1), \quad (18)$$

где K_1 и K_2 – капвложения соответственно проектного и базового вариантов; $\Delta C = C_1 - C_2$ – снижение себестоимости, которое с учетом полученных результатов можно записать следующим образом:

$$\Delta C = (V_1 - V_2) \cdot N_{max2} - (W_2 - W_1 \cdot n_1). \quad (19)$$

В более общем виде с учетом загрузки оборудования снижение себестоимости:

$$\Delta C' = (V_1 - V_2) \cdot N_{max2} \cdot K_{32} - (W_2 - W_1 \cdot n'_1), \quad (20)$$

где n'_1 – уточненное количество постов согласно базового варианта для выполнения реальной программы, определяется по формуле:

$$n'_1 = \frac{F_0 \cdot K_{B2} \cdot K_{32}}{N_{m1}}, \quad (21)$$

и округляется до целого числа в большую сторону.

Тогда уточненное выражение для расчета фактического экономического эффекта:

$$\Delta C' = \Delta C' - E_H \cdot (K_2 - K_1 \cdot n'_1). \quad (22)$$

При программе выше критической рациональным может быть вариант с большими относительно-постоянными расходами, при этом следует определить эффективность дополнительных капитальных вложений по формуле:

$$E = \frac{I}{T} = \frac{\Delta C'}{K_2 - K_1 \cdot n_1} \quad (23)$$

где T – срок окупаемости дополнительных капиталовложений, год.

Полученная величина коэффициента экономической эффективности сравнивается с нормативной величиной коэффициента экономической эффективности E_n вариант с большими капиталовложениями становится целесообразным при программе годового выпуска, дающей достаточный экономический эффект для получения $E \geq E_n$. На основании этого определяется объем производства, начиная с которого можно практически применять вариант с большими капиталовложениями – программа внедрения $N_{вн}$:

$$N_{вн} = N_{кр} + \frac{E_n \cdot (K_2 - K_1 \cdot n'_1)}{V_1 - V_2}. \quad (24)$$

Если $N_{вн} < N_{кр}$ (вариант пересечения функций $C_1(N)$ и $C_2(N)$ на «скачке»), то следует принимать $N_{вн} = N_{кр}$.

Варианты, дающие меньшую эффективность, могут быть рекомендованы к внедрению только в случае улучшения условий труда.

Описанная выше последовательность анализа реализована соответствующей программой для ПЭВМ. В качестве результата расчета, выполняемого в диалоговом режиме, получаем: таблицу исходных данных, таблицу по статьям технологической себестоимости каждого из вариантов, таблицы результатов и графическая интерпретация сравнения вариантов.

ВЫВОДЫ

Предложена методика определения наиболее приемлемого не только с технической, но и с экономической точки зрения варианта выбора конкретного процесса сварочного производства и гаммы возможных технических решений. Выбранные критерии оптимальности обладают высокой информативностью, что позволяет проводить последующий анализ без угрозы потери экономической эффективности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патон Б. Е. *Современные направления исследований и разработок в области сварки и прочности конструкций* / Б. Е. Патон // *Автоматическая сварка*. – 2003. – № 10–11. – С. 7–13.
2. Мамлин Г. А. *Производство конструкций стальных мостов* / Г. А. Мамлин // *Транспорт*. – М., 1994. – С. 398.
3. Балдаев Л. Х. *Реновация и упрочнение деталей машин методами газотермического напыления* / Л. Х. Балдаев // *Издательство КХТ*. – М., 2004. – С. 134.
4. Морозова Д. В. *Проблема технико-экономического обоснования для проектирования стыков металлических конструкций* / Д. В. Морозова, Е. А. Серова // *Вестник МГСУ*, 2012. – № 12. – С. 219–223.
5. Красовский А. И. *Основы проектирования сварочных цехов* / А. И. Красовский // *Машиностроение*. – М., 1980. – С. 318.
6. Hsien-Yu Tseng. *Welding parameters optimization for economic design using neural approximation and genetic algorithm* / Hsien-Yu Tseng // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – Volume 27, Issue 9–10. – P. 897–901.
7. Бернадский В. Н. *Сварочное производство и рынок сварочной техники в современной экономике* / В. Н. Бернадский, О. К. Маковецкая // *Економіка промисловості*. – 2007. – № 3. – С. 17–24.
8. *Интегрированный менеджмент как одна из составляющих системы обеспечения качества при производстве сварных металлоконструкций* / И. В. Трифанов, Ю. Г. Новосельцев, С. А. Готовко, Л. И. Оборина // *Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М. Ф. Решетнева*. – Выпуск № 1 (47). – 2013. – С. 224–230.