

УДК 65.011.46

Экономическая эффективность автоматизированной системы управления вакуумной дуговой печи в сталеплавильном цехе ОАО «Металлургический завод «Электросталь»

© 2015 г. К.А. Положенцев, П.А. Ливаткин, М.Д. Герасимов*

В статье представлены результаты работы по исследованию возможности снижения затрат на электроэнергию и брак, а также повышения качества выплавляемых слитков за счет модернизации вакуумной дуговой печи ДВС-3.2-Г1 в сталеплавильном цехе ОАО «Металлургический завод «Электросталь». Приведены результаты расчета затрат на брак, на электроэнергию и на заработную плату, а также себестоимости с учетом амортизации до и после модернизации системы управления. Представлены диаграмма финансового потока по годам и результаты расчета чистого дисконтированного дохода по годам, а также после первой и второй итераций. Приведены данные экономической эффективности проекта автоматизации вакуумной дуговой печи с 2014 по 2016 г. В статье приведены результаты исследования экономической эффективности, произведена оценка стоимости разработки и внедрения автоматизированной системы управления технологическим процессом. Обоснована экономическая целесообразность внедрения системы автоматического управления технологическим процессом на других вакуумных дуговых печах ОАО «Металлургический завод «Электросталь».

Ключевые слова: модернизация системы автоматического управления, затраты на брак, затраты электроэнергии, заработная плата, себестоимость, амортизация, финансовый поток, экономическая эффективность проекта.

Технология вакуумного дугового переплава (ВДП) используется для улучшения чистоты и структуры слитков [1]. Металл после вакуумного дугового переплава обладает высокой степенью очистки, равномерным распределением оставшихся в слитке примесей и мелкозернистой структурой во всем объеме слитка. Стали и сплавы ВДП имеют много областей применения, в которых решающее значение имеют чистота и однородность структуры металла [2]. Аэрокосмическая промышленность, атомная, медицинская и оборонная отрасли промышленности отдают предпочтение материалам, полученным этим способом.

Автоматизация технологического процесса ВДП в последние годы связана с появлением не только новых высокоточных средств вычислительной тех-

ники, но и современных методов управления, что приводит к улучшению качества получаемого слитка [3, 4]. Автоматические системы управления вакуумных дуговых печей контролируют и поддерживают на требуемом уровне различные параметры в течение всего процесса переплава [5–7].

Этапом развития ОАО «Металлургический завод «Электросталь» явилась разработка и внедрение автоматизированной системы управления для вакуумной дуговой печи. Действующая система не обеспечивала адекватной реакции управляющих воздействий на изменения условий в зоне переплава, что приводило к образованию дефектов [7]. В результате объем бракованных слитков достигал 3 % от общего количества выплавленного металла на вакуумных дуговых печах. Основной причиной образования брака являлся переплав на слишком короткой или слишком длинной электрической дуге. При переплаве сплавов, содержащих алюминий, брак в ряде случаев достигал 80 %. Это связано с резким нарушением условий в зоне переплава в связи с падением напряжения в ионизированных парах алюминия. Поэтому переплав сплавов, содержащих алюминий, приходится вести в ручном режиме, что позволяет снизить количество брака до 12 %.

Основной целью разработанной авторами системы автоматизированного управления техноло-

* Положенцев К.А. — аспирант СТИ НИТУ «МИСиС», 309516, Белгородская область, г. Старый Оскол, мкр. Макаренко, 42. Россия. kirill.polozhentsev@gmail.com.

Ливаткин П.А. — аспирант Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, 117997, Москва, ул. Профсоюзная, 65, Россия. PAL2010@yandex.ru.

Герасимов М.Д. — студент Московского Авиационного Института (Национального Исследовательского Университета), Волоколамское ш., 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия. maksim_gerasimov_94@mail.ru.

Таблица 1

Экономические показатели до и после внедрения усовершенствованной автоматизированной системы управления ВДП

[Economic indicators before and after the introduction of advanced automated control system VAR]

Статья	До внедрения	После внедрения	Экономия	
			Суммарная	На 1 тонну*
Потери на брак, руб/г.	862 312,5	258 693,8	603 618,7	1437,19
Оплата электроэнергии, руб/г.	1 311 690,7	1 049 352,56	262 338,14	624,61
Зарплата, руб/печь-г.	1 627 265,7	1 627 265,7	–	–
Стоимость печи, руб.	13 860 000	15 000 000	- 1 140 000	–
Амортизация (4 %), руб.	554 400	600 000	- 46 000	- 109,52
Себестоимость без амортизации, руб/т	9050,6	6890,27	907 338,6	2160,33
Себестоимость с учетом амортизации, руб/т	10 370,6	8318,84	861 739,2	2051,76

*Средняя величина за 2010, 2011 гг.; уменьшение потерь на брак до 70 %; годовой выпуск составляет 420 т. Замеры электроэнергии, потраченной на переплав одной тонны металла, показывают снижение на 20 %.

гическим процессом (АСУ ТП ВДП) являлось обеспечение своевременного адекватного управляющего воздействия на изменения условий в зоне переплава, что позволило повысить производительность печи, снизить процент брака до 0,9 %, а также вести переплав сплавов, содержащих алюминий, в автоматическом режиме (табл. 1).

Разработанная АСУ ТП ВДП обеспечивает:

- стабильность процесса при переплаве любых жаропрочных сплавов, в том числе высоколегированных, с подавлением образования структурных макродефектов металлургического происхождения;

- сбор, хранение и статистический анализ первичной технологической информации всех плавов, записанных в памяти АСУ ТП ВДП, а также расчетных параметров, не доступных для прямых наблюдений – глубины и формы ванны жидкого металла, протяженности двухфазной зоны, температурного градиента и линейной скорости затвердевания металла на фронте кристаллизации, теплосодержания слитка

Таблица 2

Исходные данные проекта по автоматизации вакуумной дуговой печи на ОАО «Металлургический завод «Электросталь»

[Source data automation project of the vacuum arc furnace at JSC «Metallurgical Plant «Electrostal»]

Показатели	Значения
1. Затраты на приобретение нового оборудования, руб.	467 209,00
2. Затраты на доставку, монтаж и пуско-наладочные работы, руб.	335 000,00
3. Затраты на инженерное обустройство, руб.	335 000,00
4. Гарантированный срок работы нового оборудования, г.	5
5. Себестоимость продукции за год до автоматизации, руб.	4 355 652,0
6. Себестоимость продукции за год после автоматизации, руб.	3 493 912,8
7. Годовой объем заказов, т	420,0
8. Депозит, %	11,0
9. Уровень риска проекта, %	8,0
10. Инфляция на валютном рынке, %	6,6

с целью последующего компьютерного анализа, выявления причин технологических отклонений, оптимизации технологии и повышения выхода годной продукции;

- приведение технологии ВДП в полное соответствие с требованиями международных стандартов с записью основных технологических параметров для выдачи сертификата качества установленного международного образца;

- повышение надежности технологии.

- снижение трудозатрат.

Поскольку не происходит высвобождения числа рабочих мест основных производственных рабочих, снижение себестоимости происходит за счет снижения расхода электроэнергии и количества брака [8, 9]. По предварительным оценкам, количество брака снизилось более чем на 70 %.

В табл. 2 приведены данные для расчета чистого дисконтированного дохода и сопутствующих величин при помощи метода денежных потоков (*Cash flow*). Этот метод применяется в инвестиционном анализе для оценки экономической эффективности внедряемого оборудования и НИОКР [10; 11].

Из данных, представленных на рис. 1, следует, что в 2012–2013 гг. в проект только вкладывали денежные средства, а с 2014 г. он начал приносить доход. Однако прибыльным проект становится только с середины 2015 г. (рис. 2).

Важным этапом представляется расчет запаса прочности проекта: при каких значениях негативных факторов (депозит, уровень риска проекта, инфляция на валютном рынке) проект за срок окупаемости (5 лет) будет находиться в точке безубыточности (окупится, не принесет прибыли, суммарный приведенный доход будет равен суммарным приведенным затратам, сумма NPV_i за срок окупаемости равна нулю [11, 12]. В общем случае алгоритм нахождения точки безубыточности следующий:

1. Негативные факторы увеличивают на произвольную величину (шаг итерации) (рекомендуется примерно в 2 раза).

2. С этими величинами вычисляется NPV_i (аналогично табл. 2).

3. В зависимости от отклонения суммы NPV_i за 5 лет от нуля выбирается величина следующего шага, на который нужно изменить негативные факторы, чтобы сумма приблизилась к нулю.

4. С этими величинами вычисляются NPV_i (аналогично табл. 2).

5. Если отклонение суммы NPV_i от нуля велико, перейти к п. 3.

6. Полученную суммарную величину рисков принимают за так называемую точку безубыточности проекта, (IRR): предельную величину негативных факторов, при которых проект все еще будет окупаемым [13, 14].

Чем сильнее отличаются предполагаемые негативные факторы от точки безубыточности (предельных негативных факторов), тем лучше: несмотря на непредвиденные ситуации, проект будет оставаться экономически успешным [14, 15].

Расчет для последней итерации (сумма негативных факторов 48,68 %) приведен в табл. 3.

Таким образом, расчет экономической эффективности внедренного технического решения на вакуумно-дуговой печи сталеплавильного цеха ОАО «Металлургический завод «Электросталь» показал следующее:

1. Суммарные затраты по разработке, наладке и инженерному обустройству составили 1 137 209 руб.

2. Уменьшение доли брака на 70 %: с 3 до 0,9 %.

3. Снижение затрат на электроэнергию – 20 %.

4. Годовой экономический эффект без изменения объемов производимой продукции – 862 092 руб.

5. Годовая рентабельность проекта без изменения объема заказов составила 14 %.

6. Срок окупаемости проекта 3 года.

Следовательно, модернизация остальных вакуумно-дуговых печей сталеплавильных цехов ОАО «Металлургический завод «Электросталь» экономически целесообразна, поскольку позволяет вывести предприятие на более высокий технологический уровень и обеспечить доходность инвестиций даже при снижении заказов.

Библиографический список

1. Beaman J.J., Lopez L.F., Williamson R.L. Modeling of the Vacuum Arc Remelting Process for Estimation and Control of the Liquid Pool Profile. ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control volume 136, issue 3. 2014. Pp. 1–11.

2. Kazak O.V., Semko A.N. Electrovortex motion of a melt in dc furnaces with a bottom electrode. Journal of Engineering Physics and Thermophysics, January 2011, volume 84, issue 1. Pp. 223–231.

3. Watt T. et al. Solidification mapping of a Nickel 718 laboratory VAR ingot, Proceedings of the 2013 International Symposium on Liquid Metal Processing and Casting.

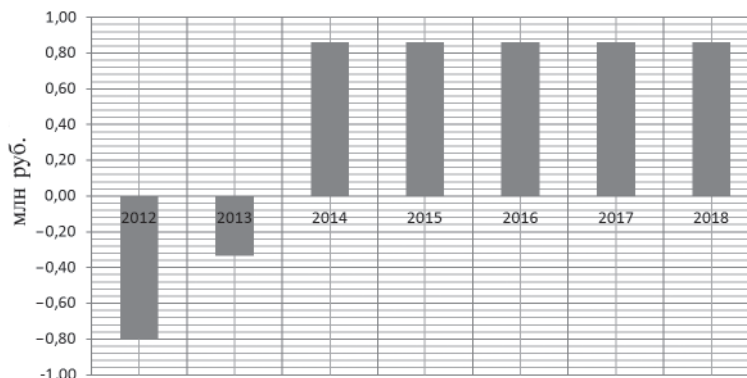


Рис. 1. Диаграмма финансовых потоков по годам
[Diagram of financial flows data]

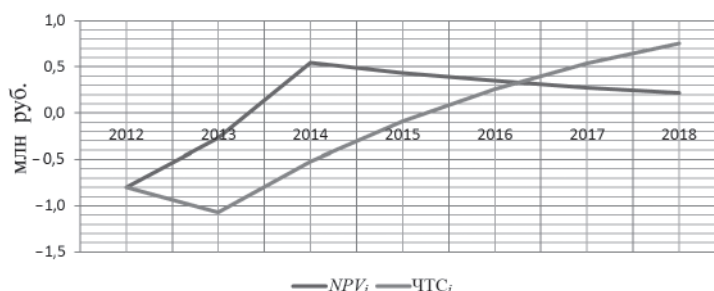


Рис. 2. График изменения приведенного ежегодного дохода (NPV_i) и приведенной прибыли ($ChTS_i$) по годам
[This misleading graph of change in annual revenues (NPV_i) and the reduced profit ($ChTS_i$) by year]

Таблица 3

Расчет чистого дисконтированного дохода по годам после 2-й итерации				
[The calculation of the net present value over the years after the 2 nd iteration]				
Период	Доход	Затраты	NPV_i	$ChTS_i$
2012	0,00	802 209,0	-802 209,00	-802 209,00
2013	0,00	335 000,0	-224 832,21	-1 027 041,21
2014	862 092,00	0,00	388 312,24	-638 728,98
2015	862 092,00	0,00	260 612,24	-378 116,74
2016	862 092,00	0,00	174 907,54	-203 209,19
2017	862 092,00	0,00	117 387,61	-85 821,58
2018	862 092,00	0,00	78 783,63	-7037,95
Итого:			-7037,95	

$IRR = 48,68 \%$ (точка безубыточности).

Таблица 4

Экономическая эффективность проекта, %		
[Cost-effectiveness of the project]		
Период, г.		
2014	2015	2016
51	40,7	32,4

4. Dednev A.A., Kisselman M.A., Nekhamin S.M. et al. Modernization of the control system and the electrical equipment of DSV vacuum arc furnaces. Russian Metallurgy (Metally). June 2010, Volume 2010, no. 6. Pp. 517–521.

5. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Логунова О.С. Автоматизация и оптимизация управления выплавкой стали в электродуговых печах. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та, 2012. 304 с.

6. Нехамин С.М. Инновационные технологии и оборудование для электрометаллургических производств: дуговые сталеплавильные, вакуумные, электрошлаковые и руднотермические печи (ООО «НПФ КОМТЕРМ») // Сб. докл. и каталог участников шестой междунар. конф. «МЕТАЛЛУРГИЯ-ИНТЕХЭКО-2013». М.: 26–27 марта 2013 г. С. 50–53.

7. Lopez F., Beaman J. Control of the solidification front in a remelting process using a finite volume model, submitted to the 2014 American Control Conference. San Antonio, Texas, USA, October 22–24, 2014. Pp. 9.

8. Гришаков В.Н. Оценка эффективности автоматизации производственных процессов в структуре железнодорожного транспорта // Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки. 2009. № 2. Часть 1. С. 152–159.

9. Галкина Ю.Е., Ковалев К.Е. Определение экономического эффекта от восстановления второго пучка сортировочно-отправочного парка станции Муром и специализации его назначением на ОАО «Выксунский металлургический завод» //

Современная экономика: проблемы, тенденции, перспективы. 2012. № 7. С. 1–5.

10. Чудеснова Я.С., Князева И.В., Семененко М.Г. Расчет экономической эффективности инновационного проекта. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2013. № 5. С. 156.

11. Цей Н.А. Анализ факторов экономической эффективности инновационных проектов // Вектор науки тольяттинского государственного университета 2010. № 2. С. 170–174.

12. Яркина Т.А. Порядок расчета экономического эффекта от внедрения инноваций в нефтегазовые разработки // Социально-экономические явления и процессы. 2011. № 9. С. 166–168.

13. Milyuts V.G., Tsukanov V.V., Kalinin G.Yu., et al. Assimilation of High-Strength Austenitic Corrosion Resistant Nitrogen-Containing Steel Melting Technology Using Large-Capacity Equipment. Metallurgist, January 2015, volume 58, issue 9–10. Pp. 800–805.

14. Ядак М.Ю. Организация планирования производства новой продукции машиностроительного производства // Бизнес Информ. 2012. № 9. С. 225–229.

15. Миронова Н.Н. Сущность и факторы устойчивого развития экономики промышленных предприятий // Бизнес в законе. Экономико-юридический журнал. 2008. № 3. С. 233–236.

Ekonomika v promyshlennosti= Economy in the industry
2015, no. 1, Vol. 25 – January - March, pp. 51–55
ISSN 2072-1633

Economic efficiency of automated control system on the example of a vacuum arc furnace in the steelmaking shop JSC «Metallurgical Plant «Electrostal»

K.A. Polozhentsev – A.A. Ugarov Sary Oskol Technological Institute NUST «MISIS», 309516, Belgorod region, Sary Oskol, mds. Makarenko, 42. Russia. kirill.polozhentsev@gmail.com.

P.A. Livatkin – V. A. Trapeznikov Institute of Management, Russian Academy of Sciences, Profsoyuznaya St. 65, 117997 Moscow, Russia. PAL2010@yandex.ru

M.D. Gerasimov – Moscow Aviation Institute, National Research University, Volokolamskoe shosse, 4 A-80, GSP-3, Moscow 125993, Russia. maksim_gerasimov_94@mail.ru.

Abstract. In order to explore the possibility to reduce energy costs and waste, as well as increasing the quality of melted ingots, the vacuum arc furnace DVS-3.2-G1 in the steelmaking shop of JSC «Metallurgical Plant «Electrostal» has been modernized. The calculations of the cost of waste, electricity and wages, as well as of cost price including depreciation before and after the modernization of management system are presented. The diagram of financial flow, calculations of net present value over the years, as well as after the first and

second iteration are presented. Data of the economic efficiency of the vacuum arc furnace automatization from 2014 to 2016 are presented. The article presents data of economic efficiency, estimates the cost of developing and implementing of the automated process control system. Established is the economic feasibility of the introduction of automatic process control on other vacuum arc furnaces in JSC «Metallurgical Plant «Electrostal».

Keywords: modernization of the automatic control system, the cost of waste, the cost of electricity, the cost of wages, depreciation cost, cash flow, economic efficiency of the project.

References

1. Joseph J. Beaman, Luis Felipe Lopez, Rodney L. Williamson Modeling of the Vacuum Arc Remelting Process for Estimation and Control of the Liquid Pool Profile. ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control volume 136, no. 3. 2014. Pp. 1–11.

2. Kazak O. V., Semko A. N. Electro-vortex motion of a melt in dc furnaces with a bottom electrode. Journal of Engineering Physics and Thermophysics, January 2011, volume 84, no. 1. Pp. 223–231.

3. Trevor Watt et al., Solidification mapping of a Nickel 718 laboratory VAR ingot, Proceedings of the 2013

International Symposium on Liquid Metal Processing and Casting.

4. Dednev A.A., Kisselman M.A., Nekhamin S.M. et al. Modernization of the control system and the electrical equipment of DSV vacuum arc furnaces. Russian Metallurgy (Metally). June 2010, Volume 2010, no. 6. Pp. 517–521.

5. Parsunkin B.N., Andreev S.M., Logunova O.S. *Avtomatizatsiya i optimizatsiya upravleniya vyplavkoi stali v elektrodugovykh pechakh*. [Automation and control optimization of steel smelting in electric arc furnaces]. Magnitogorsk: izd-vo Magnitogorsk. gos. tekhn. un-ta, 2012. 304 p. (In Russ).

6. Nekhamin S.M. Innovative technologies and equipment for electric steel plants: electric arc steel-making, vacuum, electro-slag and ore-smelting furnace. (ООО «NPF KOMTERM»). *Sb. dokl. i katalog uchastnikov shestoi mezhdunar. konf. «METALLURGIYA-INTEKHEKO-2013»*, Moscow: 26–27 marta 2013 g. Pp. 50–53. (In Russ).

7. Lopez F., Beaman J. Control of the solidification front in a remelting process using a finite volume model, submitted to the 2014 American Control Conference. San Antonio, Texas, USA, 2014. October 22–24. P. 9.

8. Grishakov V.N. Otsenka effektivnosti avtomatizatsii proizvodstvennykh protsessov v strukture zheleznodorozhnogo transporta. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomicheskie i yuridicheskie nauki*. 2009. no. 2. part 1. Pp. 152–159. (In Russ).

9. Galkina Yu.E., Kovalev K.E. Determination of the economic effects of the recovery of the second beam sorting and dispatch Murom Park Station and specializa-

tion of his appointment to the JSC «Vyksa Steel Works». *Sovremennaya ekonomika: problemy, tendentsii, perspektivy*. 2012. no.7. Pp. 1–5.

10. Chudesnova Ya.S., Knyazeva I.V., Semenenko M.G. Calculation of economic efficiency of the innovative project. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2013. no. 5. P. 156. (In Russ).

11. Tsei N.A. Analysis of the factors of economic efficiency of innovative projects. *Vektor nauki tol'yatinskogo gosudarstvennogo universiteta* 2010. no. 2. Pp. 170–174. (In Russ).

12. Yarkina T.A. The procedure for calculating the economic effect from the introduction of innovations in the oil and gas development. *Sotsial'no-ekonomicheskie yavleniya i protsessy*. 2011. no. 9. Pp. 166–168.

13. Milyuts V.G., Tsukanov V.V., Kalinin G.Yu. et al. Assimilation of High-Strength Austenitic Corrosion Resistant Nitrogen-Containing Steel Melting Technology Using Large-Capacity Equipment. *Metallurgist*, January 2015, volume 58, issue 9–10. Pp. 800–805.

14. Yadak M.Yu. Organization of planning of new production machinery production. *Biznes Inform.* 2012. no. 9. Pp. 225–229. (In Russ).

15. Mironova N.N. The essence and factors of sustainable economic development of industrial enterprises. *Biznes v zakone. Ekonomiko-yuridicheskii zhurnal*. 2008. no. 3. Pp. 233–236. (In Russ).

Information about authors: *Polozhentsev K.A., Livatkin P.A.* – Graduate students, *M.D. Gerasimov* – Student.