МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ЭЛЕВАТОРНО-МЕЛЬНИЧНОГО КОМПЛЕКСА ООО «ЖИТО»

MULTI-CRITERIAL EVALUATION OF COMPARATIVE EFFICIENCY OF EQUIPMENT OPERATING CAPACITY ON THE EXAMPLE OF THE ELEVATOR-MILLING COMPLEX LLC "ZHITO"

УДК 620.9

Гаврилова Анна Александрова, кандидат технических наук, доцент, Доцент кафедры «Управление и системный анализ теплоэнергетических и социотехнических комплексов», Самарский государственный технический университет, Россия, г. Самара

Соловьев Александр Игоревич, 2 курс, факультет «Теплоэнергетика», Самарский государственный технический университет, Россия, г. Самара

Денисова Ирина Юрьевна, 2 курс, факультет «Теплоэнергетика», Самарский государственный технический университет, Россия, г. Самара

Gavrilova Anna Alexandrova

Soloviev Alexander Igorevich, e-mail jaros6605@gmail.com

Denisova Irina Yurievna

Аннотация

В данной статье рассмотрена методика многокритериальной сравнительной оценки эффективности работы станочного оборудования элеваторно-мельничного комплекса. Рассматриваемая методика основывается на определении локальных критериев качества оборудования, характеризующих текущее состояние оборудования, выработанный и технический ресурс,

коэффициент готовности и планируемого применения. Полученная с помощью метода Data Envelopment Analysis (DEA) оценка эффективности работы рассматриваемых агрегатов позволяет принимать управленческие решения относительно необходимости проведения ремонтных мероприятий, модернизации или замены установок без останова и вывода оборудования из производственного процесса.

Annotation

In this article, the method of multi-criteria comparative evaluation of the efficiency of machine equipment of the elevator and mill complex is considered. The method under consideration is based on the definition of local criteria for the quality of equipment that characterize the current state of the equipment, the developed and technical resource, the availability factor and the planned use. The evaluation of the efficiency of the units under consideration obtained using the Data Envelope Analysis (DEA) method makes it possible to make management decisions regarding the need for repair measures, modernization or replacement of installations without stopping and withdrawal of equipment from the production process.

Ключевые слова: метод Data Envelopment Analysis (DEA), локальные критерий, технический ресурс, назначенный ресурс, коэффициент готовности, коэффициент планируемого применения, глобальный критерий, весовой коэффициент.

Keywords: Data Envelope Analysis (DEA) method, local criteria, technical resource, assigned resource, availability factor, planned application factor, global criterion, weight factor.

В настоящее время для многих промышленных предприятий насущной проблемой является модернизация и замена устаревшего технологического оборудования на более эффективное и современное. Задача оценки существующего оборудования по множеству характеристик состояния оборудования для выбора обоснованного управленческого решения является актуальной.

В данной статье проведен анализ работы станочного оборудования крупнейшего в Самарской области элеваторно-мельничного комплекса.

Элеваторно-мельничный комплекс ООО «ЖИТО» имеет емкости единовременного хранения более 100 000 тонн. Производительность размола линии на "ЖИТО" составляет 250 т пшеницы и 50 т ржи в сутки. Элеваторно-мельничный комплекс ООО «ЖИТО» был построен в 1959 году, расположен в прибрежной зоне Комсомольского района г. Тольятти и имеет возможность отгрузки продукции на водный транспорт.

В данной статье было проанализировано следующее оборудование: ситовеечные машины и рассевы. Рассматриваемое оборудование относится к основному производственному процессу. Первично продукт попадает в рассевы для первоначальной обработки, где происходит сортировка на фракции круподунстовых продуктов. Круподунствый продукт – это ещё не прошедший разделение по качеству и крупности сырьё, на выходе продукт получается однородным. После прохождения рассева, продукция попадает на ситовеечные машины, где происходит процесс сортировки продукции для получения однородных фракций разделённых по качеству и крупности.

1) Ситовеечные машины – необходимы для просеивания пшеницы и разделения на фракции, является вторичной стадией обработки продукции.
2) Рассевы – необходимы для проведения грубой очистки непосредственно после получения зерна, является первичной стадией разделения на фракции.

Исследуемое оборудование используется с момента введения в эксплуатацию рассматриваемого объекта в 1959 г.

Анализ эффективности работы оборудования

Для оценки эффективности работы оборудования используем метод Data Envelopment Analysis (DEA), который в русскоязычной литературе носит название анализ среды функционирования (АСФ) [1].

DEA метод – это непараметрический метод, в основе которого лежит сравнительный анализ входных и выходных показателей [3].

Комплексный обобщенный показатель эффективности каждого из рассматриваемых объектов в методологии DEA был рассмотрен в работах [3,4] представим в виде взвешенного отношения суммы выходных параметров к входным ресурсам и сформируем следующим образом:

$$f_n = max_{u_{in},v_{jn}\in U} \frac{u_{1n}Y_{1n}+u_{2n}Y_{2n}+\cdots+u_{kn}Y_{kn}}{v_{1n}X_{1n}+v_{2n}X_{2n}+\cdots+v_{mn}X_{mn}}, \quad (1)$$

где *n* – номер структуры, *ui (i=1,2...k)* и *vj (j=1,2...m)*– положительные весовые коэффициенты, характеризующие относительный вклад каждого из максимизируемых и минимизируемых локальных показателей качества объекта. Глобальный критерий f определяется при наличии ограничений, которые устанавливают область значений весов u_{in} и v_{jn}:

$$\begin{gathered}\frac{u_{1n}\cdot Y_{11}+u_{2n}\cdot Y_{21}+\ldots+u_{kn}\cdot Y_{k1}}{v_{1n}\cdot X_{11}+v_{2n}\cdot X_{21}+\ldots+v_{mn}\cdot X_{m1}} \le 1\ , \\ \frac{u_{1n}\cdot Y_{12}+u_{2n}\cdot Y_{22}+\ldots+u_{kn}\cdot Y_{k2}}{v_{1n}\cdot X_{12}+v_{2n}\cdot X_{22}+\ldots+v_{mn}\cdot X_{mn2}} \le 1, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ \frac{u_{1n}\cdot Y_{1N}+u_{2n}\cdot Y_{2N}+\ldots+u_{kn}\cdot Y_{kN}}{v_{1n}\cdot X_{1N}+v_{2n}\cdot X_{2N}+\ldots+v_{mn}\cdot X_{mN}} \le 1,\end{gathered} \quad (2)$$

Численные значения всех показателей комплексной эффективности f для множества объектов рассчитывается и ранжируется на интервале с [0;1]. Различные объекты с различающимися характеристиками в методе DEA могут иметь одинаковые обобщённые показатели эффективности. Поэтому для расчета супрэффективности совокупности объектов снимаем ограничение эффективности [0;1], и определяем глобальный критерий *S* на интервале [0;+∞]. [5]

Применим данный метод для эмпирического измерения показателей надежности, определения локальных критериев качества оборудования, выработанный и технический ресурс, коэффициент готовности и планируемого применения. Результаты расчётов позволят определить эффективность работы рассматриваемого оборудования.

В качестве критериев оценки оборудования используются следующие параметры:

Мелкий ремонт (Р1) – предусматривает собой замену быстроизнашивающихся деталей, без разборки оборудования. Измеряется в количестве проведенных ремонтов, отнесён к минимизированным критериям качества X_i.

Средний ремонт (Р2) – предусматривает частичный разбор оборудования, замену или восстановление вышедших из строя деталей оборудования, выполняется непосредственно на месте установки. (измеряется в количестве проведенных ремонтов), относится к минимизированным критериям качества X_i.

Капитальный ремонт (Р3) – требует полной разборки оборудования для анализа состояния качества узлов агрегата, и ремонта всех присутствующих деталей, на данном этапе может производиться модернизация оборудования. Измеряется в количестве проведенных ремонтов и причисляется к минимизированным критериям качества X_i.

Технический ресурс – наработка объекта от начала его эксплуатации или возобновления эксплуатации после ремонта до наступления предельного состояния. Строго говоря, технический ресурс может быть регламентирован следующим образом: до среднего или капитального, от капитального до ближайшего среднего ремонта и т.п. Если регламентация отсутствует, то имеется в виду ресурс от начала эксплуатации до достижения предельного состояния после всех видов ремонтов. Отнесён к максимизированным критериям качества Y_i.

Для невосстанавливаемых объектов понятия технического ресурса и наработки до отказа совпадают.

$$T_p = \sum_1^n (P_{фм} + P_{кон}), \qquad (3)$$

где T_p – технический ресурс объекта или системы; [%]

$P_{фм}$ – запас физико-механических свойств (характеризует поведение узлов агрегата под действием физических факторов);

$P_{кон}$ – запас конструктивных свойств (запас прочности элементов агрегата).

Назначенный ресурс (Н) – суммарная наработка объекта, при достижении которой эксплуатация должна быть прекращена независимо от его состояния. Для ситовеечных машин, в расчётах он принят за 1, т.к. заводами изготовителями он не задаётся, [год]. Отнесён к минимизированным критериям качества X_i.

Коэффициент готовности - вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается. Рассчитывается по формуле:

$$КТГ_м = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \quad (4)$$

где MTBF (mean time between failu**res) – ожидаемое время между отказами, среднее время наработки на отказ;**

MTTR (mean time to repair (restoration) – ожидаемое время ремонтных работ, [год] [2].

Отнесён к максимизированным критериям качества Y_i.

Коэффициент планируемого применения - доля периода эксплуатации, в течение которой объект не должен находиться в плановом техническом обслуживании (ТО) или ремонте.

$$КПП = \frac{Ф_Р}{С} / Ф_п \quad (5)$$

где $Ф_р$ – фактическое время работы всех станков предприятия, выраженное в часах;

C – общее количество станков на предприятии, в штуках;

$Ф_п$ – плановый расчет рабочего времени, в часах.

Причислен к максимизированным критериям качества Y_i.

Табл.1- Значения критериев качества рассматриваемых объектов.

Локальные критерии оборудование элеваторно-мельничного комплекса	Ситовеечные машины						Рассевы					Операция оптимизации
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	R_7	R_8	R_9	R_{10}	R_{11}	
Количество мелких ремонтов	20	19	22	18	17	20	31	34	41	42	39	Мин.
Количество средних ремонтов	5	6	7	8	12	9	20	25	20	26	26	Мин.
Количество капитальных ремонтов	4	3	4	5	5	5	4	4	7	6	5	Мин.
Назначенный ресурс							8	8	8	8	8	Мин.
Производительность	41	41	41	41	41	41	50	50	50	50	50	Макс.
Коэффициент готовности	0,66	0,66	0,70	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	Макс.
Коэффициент планируемого применения	0,6	0,6	0,64	0,6	0,6	0,59	0,54	0,53	0,58	0,54	0,56	Макс.
Технический ресурс	13	13	13	15	15	15	15	15	15	15	15	Макс.

Для оценки качества оборудования по предложенным локальным критериям качества, сформируем глобальный критерий:

$$f_n = max_{u_{in},v_{jn}\in U} \frac{u_{1n}\text{Р}1_{1n}+u_{2n}\text{Р}2_{2n}+u_{3n}\text{Р}3_{3n}+u_{4n}\text{Н}_{4n}}{v_{1n}\text{П}_{1n}+v_{2n}\text{КГТ}_{\text{м}2n}+v_{3n}\text{КПП}_{3n}+v_{4n}\text{Т}_{\text{р}4n}} \quad (6)$$

При ограничениях:

$$\begin{cases} \frac{u_{11}Y_{11}+u_{21}Y_{21}+u_{31}Y_{31}++u_{41}Y_{41}}{v_{11}X_{11}+v_{21}X_{21}+v_{31}X_{31}+v_{41}X_{41}} \leq 1 \\ \cdots \\ \frac{u_{1\,11}Y_{1\,11}+u_{2\,11}Y_{2\,11}+u_{3\,11}Y_{3\,11}++u_{4\,11}Y_{4\,11}}{v_{1\,11}X_{1\,11}+v_{2\,11}X_{2\,11}+v_{3\,11}X_{3\,11}+v_{4\,\,11}X_{4\,11}} \leq 1 \end{cases} \quad (7)$$

$$i = \{1,2,\dots k\}; j = \{1,2,\dots m\}$$

Y_i – максимизируемые критерии качества оборудования, которым можно отнести следующие локальны критерии:

1) Технический ресурс.
2) Коэффициент готовности.
3) Коэффициент планируемого применения.
4) Технический ресурс.

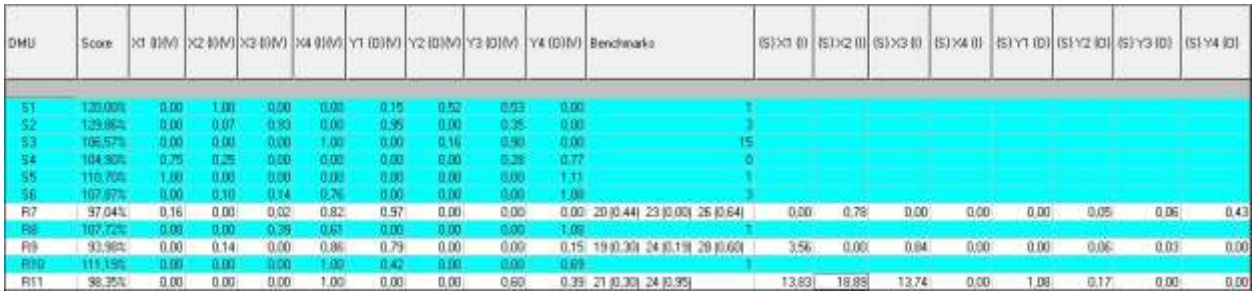
X_i – минимизируемые критерии качества оборудования, к которым можно отнести следующие локальные критерии:

1) Мелкие ремонты.
2) Средние ремонты.
3) Капитальные ремонты.
4) Назначенный ресурс.

Так как $f_n \in [0; +\infty]$, то рассчитывается как суперэффективность s_n. Для данной задачи суперэффективность s_n показывает процент выработки рассматриваемого объекта и позволяет выяснить на сколько процентов оборудование превысило свой запас прочности. Таким образом, чем выше показатель суперэффективности s_n, тем ниже надежность оборудования, и, чем меньше s_n, тем лучше состояние оборудования.

Для решения задачи математического программирования используем программу Efficiency Measurement System (EMS). В таблице 2 представлены значения глобального критерия и весовых коэффициентов:

Табл.2 - Результаты расчета суперэффективности основного оборудования



DMU	Score	X1 (I)(M)	X2 (I)(M)	X3 (I)(M)	X4 (I)(M)	Y1 (O)(M)	Y2 (O)(M)	Y3 (O)(M)	Y4 (O)(M)	Benchmarks	(S) X1 (I)	(S) X2 (I)	(S) X3 (I)	(S) X4 (I)	(S) Y1 (O)	(S) Y2 (O)	(S) Y3 (O)	(S) Y4 (O)
S1	120,00%	0,00	1,00	0,00	0,00	0,15	0,52	0,53	0,00	1								
S2	129,86%	0,00	0,07	0,93	0,00	0,95	0,00	0,35	0,00	3								
S3	106,57%	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,16	0,90	0,00	15								
S4	104,90%	0,75	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	0,77	0								
S5	110,70%	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,11	1								
S6	102,67%	0,00	0,10	0,14	0,76	0,00	0,00	0,00	1,00	3								
R7	97,04%	0,16	0,00	0,02	0,82	0,97	0,00	0,00	0,00	20 (0,44) 23 (0,00) 26 (0,64)	0,00	0,78	0,00	0,00	0,00	0,05	0,06	0,43
R8	107,72%	0,00	0,00	0,39	0,61	0,00	0,00	0,00	1,08	1								
R9	93,98%	0,00	0,14	0,00	0,86	0,79	0,00	0,00	0,15	19 (0,30) 24 (0,15) 26 (0,60)	3,56	0,00	0,84	0,00	0,00	0,06	0,03	0,00
R10	111,15%	0,00	0,00	0,00	1,00	0,42	0,00	0,00	0,69	1								
R11	98,35%	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,60	0,39	21 (0,30) 24 (0,95)	13,83	18,85	13,74	0,00	1,08	0,17	0,00	0,00

Анализ полученных данных показал, что по качеству оборудование можно разделить на следующие группы:

1) Все ситовеечные машины (S1-S6), а так же рассевы R8 и R10 не эффективны, так как все глобальные критерии суперэффективности $F_i \geq 100\%$.
2) Максимальная выработка ресурса наблюдается у агрегата S2 = 129,86%, на данный результат повлияли в большей степени следующие показатели: количество капитальных ремонтов и коэффициент планируемого применения.
3) Установки R7,R9, и R11 можно считать работоспособным оборудованием, так как, их глобальные критерии $F_i < 100\%$, оборудование ещё не выработало свой ресурс и его можно эксплуатировать в дальнейшем.
4) Минимальная выработка ресурса наблюдается у R9 = 93,98%, таким образом агрегат R9 имеет наибольшую эффективность, как видно из результатов расчёта суперэффективности оборудования.

Выводы

По результатам оценивания определено, что ситовеечная машина S2 имеет самую низкую эффективность, и для неё рекомендовано произвести замену на более современное оборудование, так же к группе с пониженной эффективностью можно отнести следующие агрегаты: S1, S3, S6, R8, и R10. В первую очередь подлежат модернизации рассевы R7 и R11, так как процент их выработки близок к 100%, после чего можно приступать к модернизации R9 имеющую больший процент эффективности. Целесообразно для дальнейшего использования агрегатов R7, R9 и R11 разработать методику расчётов, которая

сможет установить, сколько процентов эффективности теряет в год данное оборудование, чтобы вовремя произвести замену агрегатов без потери в производительности.

Список литературы

1. Дилигенский, Н.В. Многокритериальная оценка сравнительной эффективности организационных систем управления / Н.В. Дилигенский, М.В. Цапенко // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: труды VIII межд. конф. – Самара: САМНЦ РАН, 2006. С. 66-72
2. Ермолов Л.С. Основы надежности сельскохозяйственной техники / Ермолов Л.С. Кряжков В.М. Черкун В.Е.// М.: Колос,1982
3. Thanassoulis, E. Simulating Weights Restrictions in Data Envelopment Analysis by Means of Unobserved DMUs / E. Thanassoulis, R. Allen // Management Science.–1998, April.–Vol. 44, No. 4.–P. 586–594.
4. Dyson R.G., Thanassoulis E. and Boussofiane A. DATA ENVELOPMENT ANALYSIS – Warwick Business School [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.warwick.ac.uk/~bsrlu/dea/deat1.htm.
5. Гаврилов В.К., Гаврилова А.А., Косолапов Д.Ю. Методика оценивания сравнительной эффективности работы основного технологического оборудования ТЭЦ. // Математическое моделирование и краевые задачи: Тр. IV всеросс. науч. конф. с межд.уч./ Инж. акад. РФ; СамГТУ. – Самара: РИО СамГТУ, 2007 – с.34-37.
6. Гаврилов В.К., Посашков М.В. Сапчук Д.Н., Лущиков Н.В. Методика многокритериального оценивания газоиспользующего оборудования. // Математическое моделирование и краевые задачи: Тр. V всеросс. науч. конф. с межд. уч./ Инж. акад. РФ; СамГТУ. – Самара: РИО СамГТУ, 2008 – с. 107-109.
7. Дилигенский Н.В., Салов А.Г., Гаврилова А.А., Гаврилов В.К. Комплексный анализ режимов работы основного оборудования генерирующих предприятий и расходов электрической энергии на собственные нужды. //

Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». – 2008 – №2 (22). – с.186-195

Literature

1. Diligensky, N. V. Multicriteria assessment of comparative efficiency of organizational management systems / N. V. Diligensky, M. V. Tsapenko // Problems of control and modeling in complex systems: proceedings of the VIII International Conference-Samara: SAMSC RAS, 2006. pp. 66-72
2. Yermolov L. S. Fundamentals of reliability of agricultural machinery / Yermolov L. S. Kryazhkov V. M. Cherkun V. E./ / Moscow: Kolos,1982
3. Thanassoulis, E. Simulating Weights Restrictions in Data Envelopment Analysis by Means of Unobserved DMUs / E. Thanassoulis, R. Allen // Management Science.–1998, April.–Vol. 44, No. 4.–P. 586–594.
4. Dyson R.G., Thanassoulis E. and Boussofiane A. DATA ENVELOPMENT ANALYSIS – Warwick Business School [Electronic resource]. Access mode: http://www.warwick.ac.uk/~bsrlu/dea/deat1.htm
5. Gavrilov V. K., Gavrilova A. A., Kosolapov D. Yu. Methodology for evaluating the comparative efficiency of the main technological equipment of the CHPP. // Mathematical modeling and boundary value problems: Tr. IV
6. Gavrilov V. K., Posashkov M. V. Sapchuk D. N., Lushchikov N. V. Methodology of multi-criteria evaluation of gas-using equipment. // Mathematical modeling and boundary value problems: Tr. V vseross. nauch. konf. s mezhd. uch./ Eng. akad. RF; SamSTU. - Samara: RIO SamSTU, 2008-pp. 107-109.
7. Diligenskiy N. V., Salov A. G., Gavrilova A. A., Gavrilov V. K. Complex analysis of the operating modes of the main equipment of generating enterprises and the consumption of electric energy for their own needs. // Bulletin of the Samara State Technical University. Series "Technical sciences". – 2008 – №2 (22). – pp. 186-195