

УДК 004.021

В. Л. Колесников, доктор технических наук, профессор (БГТУ);**А. И. Бракович**, кандидат технических наук, старший преподаватель (БГТУ)**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА
ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ ВО ВЗАИМОСВЯЗИ С АНТРОПОГЕННЫМ
ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

Статья посвящена разработке метода комплексной оценки деятельности предприятия во взаимодействии его с окружающей средой. Предложен новый метод многокритериальной оценки деятельности предприятия по производственным, экономическим, экологическим и потребительским показателям, где в качестве обобщающего оценочного критерия выступает комплексная функция желательности. Даны математические основы комплексной функции желательности. Приведен пример расчета для предприятия, выпускающего типографскую бумагу.

The article is devoted to the development of integrated assessment of the industrial enterprise, in collaboration with the impact on the environment. A new method of multicriteria evaluation of the enterprise activities by production, economic, environmental and consumer indicators is given, where the synthesis assessment criterion performs a complex function of desirability. Provides the mathematical foundations of complex function of desirability. The example of calculation for the industrial enterprise, which produces printing paper is given.

Введение. Самую распространенную в настоящее время формулировку оптимизационных задач, предписывающих вычислить максимальное значение эффективности при заданных условиях, следует уже считать лишь частным случаем нахождения рационального решения. Жизненные обстоятельства на самом деле оказываются значительно сложнее. В реальной обстановке оценка деятельности предприятий производится на основе более десятка критериев: по производительности, по себестоимости, по рентабельности, по загрязнению атмосферы и водоема и т. д. Приходится жить и работать в многокритериальном мире, где цели часто противоречат друг другу. Например, производительность и рентабельность нужно максимизировать, а себестоимость и загрязнение – минимизировать [1, 2].

Разработке метода комплексной оценки деятельности предприятия во взаимодействии его с окружающей средой посвящена настоящая статья.

Основная часть. При наличии в многокритериальной задаче параметров с разной размерностью с целью устранения данной проблемы используют их нормализацию. Известны несколько способов нормализации:

1) классическая:

$$\frac{f(x|y) - \min_{x \in X}(f(x|y))}{\max_{x \in X}(f(x|y)) - \min_{x \in X}(f(x|y))}; \quad (1)$$

2) нормализация сравнения:

$$\frac{f(x|y)}{\max_{x \in X}(f(x|y))}; \quad (2)$$

3) нормализация осреднения:

$$\frac{f(x|y)}{\sum_{y \in Y} f(x|y)}. \quad (3)$$

Предлагается для функций с односторонними ограничениями использовать логистическое нормализующее выражение вида

$$d_{ij} = e^{-e^{(b_0 + b_1 Y_{ij})}}. \quad (4)$$

Двухсторонние критерии следует нормализовать колоколообразной функцией

$$d_{ij} = e^{-(Y_{ij} - Mx_j)^2 / 2\sigma_j^2}, \quad (5)$$

где d_{ij} – частные функции желательности для j -го критерия i -го измерения; Y_{ij} – измеренные значения j -го критерия; Mx_j – наилучшее желаемое значение j -го критерия; σ_j – значение критерия, соответствующего значению 0,33 частной функции желательности.

Применение формул (4) и (5) дает возможность сравнивать результаты измерений в одной шкале (d_{ij} изменяются в диапазоне от 0 до 1) [1–3].

Поскольку i -е измерения j -го критерия могут характеризовать ситуацию с точки зрения только одного критерия (хотя нельзя игнорировать важность и такой информации; зная, что выигрываем и чем жертвуем, можно оценить каждое из решений и выбрать самое приемлемое), то чтобы иметь возможность рассматриваемую ситуацию оценить комплексно, с учетом всех критериев одновременно, необходимо осуществить операцию свертки критериев.

Первый способ – это суммирование, или «экономический» способ соединения, – способ, когда целью процесса является максимизация критерия типа

$$W = \sum_{i=1}^p \alpha W_i, \quad (6)$$

где α – вес соответствующего критерия.

Положительность α не предполагается. При таком формировании обобщенного критерия не исключается ситуация, когда можно добиться высоких показателей по одним критериям за счет ухудшения показателей по другим. В этом случае значения некоторых частных критериев могут оказаться меньше предельно допустимых значений.

Во втором способе свертывания критериев производится последовательное достижение частных целей. Учет выполнения последующей операции начинается только тогда, когда достигнуты абсолютные максимумы критериев эффективности предыдущих частных операций. Результат суммарной операции принимается равным сумме достигнутых результатов учитываемых операций:

$$W = W_i + \sum_{k=1}^i \sup W_k. \quad (7)$$

Третий способ свертки – логическое объединение качественных целей.

Если общая цель операции состоит в выполнении всех целей одновременно (конъюнкция), то

$$W = \prod_{i=1}^p W_i(x). \quad (8)$$

Если общая цель достигается тогда, когда достигается хотя бы одна частная цель (дизъюнкция), то

$$W = 1 - \prod_{i=1}^p [1 - W_i(x)] \quad (9)$$

Для свертки критериев и вычисления обобщенного суперкритерия мы предлагаем модифицированное выражение для среднего геометрического:

$$D_i = \left(\prod_{j=1}^p d_{ij}^{\delta_j} \right)^{\frac{1}{\sum_{j=1}^p \delta_j}}, \quad (10)$$

где d_{ij} – частные функции желательности, полученные по (4) и (5); δ_j – статистический вес (важность) j -го критерия.

Выбор значений статистических весов – проблема трудно формализуемая, поэтому самым рациональным в данной ситуации следует считать привлечение экспертов.

Существует масса методов получения экспертных оценок. В одних методах с каждым экспертом работают отдельно, он даже не знает, кто еще является экспертом, а потому высказывает свое мнение независимо от авторитетов. В других – экспертов собирают вме-

сте, при этом эксперты обсуждают проблему друг с другом, учатся друг у друга, и неверные мнения отбрасываются. В одних методах число экспертов фиксировано и таково, чтобы статистические методы проверки согласованности мнений и затем их усреднения позволяли принимать обоснованные решения. В других – число экспертов растет в процессе проведения экспертизы. Не меньше существует и методов обработки ответов экспертов, в том числе весьма насыщенных математикой и компьютеризированных.

Экспертные оценки – это отдельная проблема, поэтому, не вдаваясь в ее детали, мы просто обозначим процедуру назначения δ_j в зависимости от относительной важности критериев. Такой подбор коэффициентов мы рекомендуем пока выполнять, согласно таблице.

Шкала относительной важности критериев

Значение весового коэффициента δ	Определение
0	Равная важность сравниваемых требований
0,25	Умеренное (слабое) превосходство одного над другим
0,50	Сильное (существенное) превосходство
0,75	Очевидное превосходство
0,95	Абсолютное (подавляющее) превосходство
1	Полное превосходство

На рис. 1 представлен общий вид интерфейса программы для комплексной оценки функционирования производственного объекта в совокупности с окружающей средой.

В левом нижнем окне перечисляются критерии, по которым будет осуществляться комплексная оценка. Одновременно выбирается вид нормирующих функций: с одно- или с двусторонними ограничениями. Качество представлено показателем прочности типографской бумаги. Этот критерий нужно максимизировать. Максимизировать также следует и критерий производительности (скорость бумагоделательной машины). Остальные критерии нужно минимизировать: себестоимость продукции (сумма энерготехнологических затрат) и загрязнение окружающей среды в виде массы веществ, сбрасываемых в водоем и выбрасываемых в атмосферу.

Окно в левом верхнем углу содержит информацию об условиях производства. Перечисленные образцы бумаги получены при различных значениях двух режимных параметров – расхода полимерной упрочняющей добавки и степени помола волокнистой суспензии, а также при зарегистрированных случайных значениях содержания электролитов в речной воде.

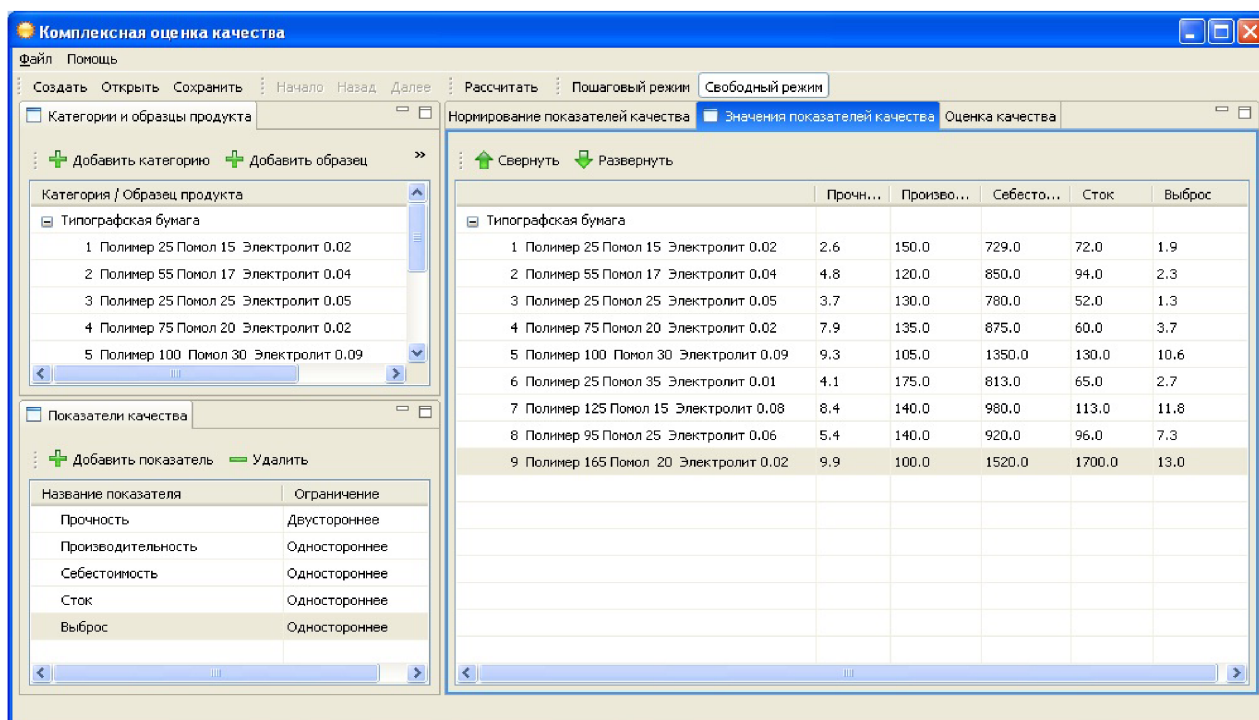


Рис. 1. Главное окно интерфейса разработанной программы многокритериального оценивания работы предприятия

Правое окно может быть представлено в виде одной из трех закладок:

- для нормирования критериев;
- для результатов измерений качества продукции, экономических показателей и загрязнения окружающей среды;
- для результатов расчетов частных функций желательности и обобщенного критерия.

Рис. 2 отражает условия настраивания критериев (частных функций желательности). Процедура сводится к назначению координат на осях натуральных значений критериев, соответствующих двум точкам функций желательности: 0,33 (граница брака или ПДК загрязняющего вещества) и 0,95 (идеальное или реально достижимое значение свойства).

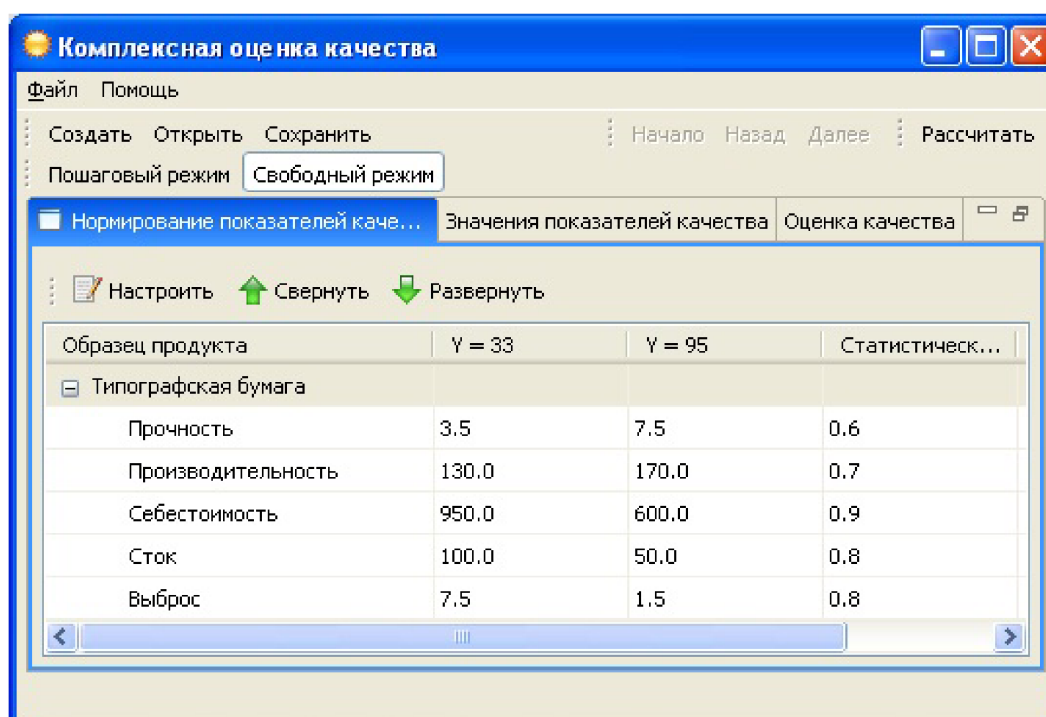


Рис. 2. Окно настраивания критериев

The screenshot shows a software window titled 'Комплексная оценка качества'. It contains a menu bar, a toolbar, and several panels. The main panel displays a table of quality indicators for a category 'Типографская бумага'. The table has columns for 'Категория продукта / Образец', 'Про...', 'Про...', 'Себ...', 'Сток', 'Выб...', and 'Комплекс...'. The data is as follows:

Категория продукта / Образец	Про...	Про...	Себ...	Сток	Выб...	Комплекс...
1 Полимер 25 Помол 15 Электролит 0.02	0,3753	0,7878	0,8528	0,8201	0,9390	0,7472
2 Полимер 55 Помол 17 Электролит 0.04	0,7426	0,0916	0,6308	0,4645	0,9256	0,4611
3 Полимер 25 Помол 25 Электролит 0.05	0,5547	0,3300	0,7794	0,9436	0,9548	0,6851
4 Полимер 75 Помол 20 Электролит 0.02	0,9935	0,4700	0,5634	0,9095	0,8536	0,7194
5 Полимер 100 Помол 30 Электролит 0.09	0,8761	0,0005	0,0000	0,0009	0,0044	0,0000
6 Полимер 25 Помол 35 Электролит 0.01	0,6239	0,9657	0,7168	0,8790	0,9095	0,8131
7 Полимер 125 Помол 15 Электролит 0.08	0,9675	0,5980	0,2363	0,0850	0,0000	0,0463
8 Полимер 95 Помол 25 Электролит 0.06	0,8353	0,5980	0,4266	0,4202	0,3676	0,4877
9 Полимер 165 Помол 20 Электролит 0.02	0,7905	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Рис. 3. Окно результатов

Правое окно рис. 1 предназначено для ввода результатов измерений значений выбранных критериев при различных условиях. Подробный анализ и комментарии к содержимому этого окна в данной статье не требуются.

Наибольший интерес представляет анализ данных, приведенных на рис. 3. По строкам можно проранжировать производственный, экологический и потребительский уровни каждого образца. Самый красноречивый на рис. 3 – последний столбец. В нем собраны значения комплексной оценки всех образцов. Нетрудно выделить лучшие результаты ($\max D_i$), которые сопровождают получение шестого образца ($D_6 = 0,8131$). Легко также убедиться в том, что условия получения и свойства пятого и девятого образцов совершенно не приемлемы, причем конечный результат пятого образца компрометирует только себестоимость, а оценка деятельности предприятия по условиям девятого образца оказывается предельно низкой по четырем из пяти критериев.

Имея результаты в таком виде, в каком они сгруппированы на рис. 3, достаточно просто представить всю картину благополучия и тревоги на предприятии, выявить и устранить причины проблемных ситуаций, определить объемы и очередность инвестирования.

Совершенно очевидно, что высокие расходы упрочняющих добавок полимеров не приводят к желаемому эффекту. Управлять качеством оказывается рациональнее путем механического

упрочнения. Не подлежит сомнению вредность присутствия электролитов в речной воде.

Заключение. В данной статье предложен новый метод многокритериальной оценки деятельности предприятия по производственным, экономическим, экологическим и потребительским показателям, где в качестве обобщающего оценочного критерия выступает комплексная функция желательности. Приведен пример расчета для предприятия, выпускающего типографскую бумагу.

Литература

1. Колесников, В. Л. Компьютерное моделирование и оптимизация химико-технологических систем: учеб. пособие для вузов / В. Л. Колесников, П. П. Урбанович, И. М. Жарский. – Минск: БГТУ, 2004. – 532 с.
2. Колесников, В. Л. Математические основы компьютерного моделирования химико-технологических систем / В. Л. Колесников. – Минск: БГТУ, 2003. – 312 с.
3. Бракович, А. И. Комплексная оценка размещения пунктов контроля за состоянием атмосферного воздуха в программном средстве «Экспертиза» / А. И. Бракович // Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов: материалы докладов Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 6–8 июня 2006 г. / Белорус. гос. технол. ун-т; под ред. И. М. Жарского. – Минск, 2006. – С. 28–30.

Поступила 02.03.2011