
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ
И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

**Метод модифицированного SWOT-анализа
эффективности изменения технологий**

© 2019 г. Е.Г. Винокуров^{i, ii}, В.П. Мешалкинⁱ, Х.А. Невмятуллина^{i, ii, *},
Т.Ф. Бурухинаⁱ, В.В. Бондарьⁱⁱ, С.М. Ходченкоⁱ

ⁱ Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва

ⁱⁱ Всероссийский институт научной и технической информации РАН, Москва

*e-mail: vin-62@mail.ru

Поступила в редакцию 29.11.2017

Исследование проведено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения базовой части государственного задания 10.4556.2017/6.7.

В настоящее время классический SWOT-анализ широко используется в качестве научной основы для оценки конкурентоспособности и разработки стратегии развития объекта управления. Метод дает лишь качественные оценки технико-экономической эффективности, не позволяющие принять наилучшие научно-обоснованные организационно-управленческие решения. При этом анализируют эффективность только одного объекта: технологии, отрасли экономики, организации, подразделения предприятия и прочих подобных объектов. Авторами предложен новый модифицированный непараметрическо-статистический метод SWOT-анализа для сравнения эффективности двух объектов управления. Описаны этапы анализа: определение группы экспертов, разработка анкеты для их опроса, проведение опроса, формирование модифицированной матрицы SWOT-анализа. Разработаны образцы модифицированных матриц SWOT-анализа как отдельно для каждого объекта, так и для сравниваемых объектов в совокупности. Для обеспечения достоверности результатов модифицированный метод SWOT-анализа обогащен критерием непараметрической статистики, который применяют для количественной оценки достоверности сдвигов — критерия знаков (G-критерий). Приведен алгоритм применения критерия для проверки гипотезы о направлении сдвига в показателях эффективности при переходе от одного объекта к другому. Предложенный метод применен для сравнения технико-экономической эффективности двух процессов хромирования: из растворов на основе токсичной хромовой кислоты (Cr-6) и из растворов на основе экологически менее опасных соединений трехвалентного хрома (Cr-3). Показано, что на современном этапе технология (Cr-6) остается наиболее эффективной технологией получения хромовых покрытий. Применение технологии (Cr-3) не даст предприятию существенных конкурентных преимуществ, и, возможно, более эффективным является проведение мероприятий по модернизации классической технологии (Cr-6).

Ключевые слова: SWOT-анализ, непараметрическая статистика, критерий знаков, технико-экономическая эффективность, производственные технологии, химическая технология, электроосаждение металлов.

Классификация JEL: C19, L60, M11, O32.

DOI: 10.31857/S042473880004046-9

1. ВВЕДЕНИЕ

Производственно-технологическая, организационно-управленческая и финансовая деятельность промышленного предприятия представляет собой совокупность бизнес-процессов жизненного цикла выпускаемой конечной продукции с использованием специфических производственных технологий, определяющих виды применяемых ресурсов и степень воздействия на окружающую среду (ОС). Для соответствия уровню научно-технологического прогресса и решения проблем охраны ОС необходимо либо повышать эффективность существующих технологий, либо своевременно заменять их новыми, более передовыми (Кривцов, 2014; Мешалкин, 2010). Принятие соответствующих научно-обоснованных решений требует всестороннего анализа факторов внешней и внутренней среды предприятия. Распространенным методом поиска и принятия организационно-управленческих решений является SWOT-анализ (Котлер, Бергер, Бикхофф, 2012;

Богомолова, 2004; Skolozzi, Schirpke, Morri, 2014). Появившийся в настоящее время SWOT-анализ как метод оценки текущего состояния организации — это прежде всего метод разработки эффективной стратегии устойчивого развития предприятия.

Так, автор (Sun, 2012) предлагает использовать SWOT-анализ в качестве научной основы для разработки стратегической ориентации предприятия в условиях усиливающейся рыночной конкуренции. Концепция развития экоиндустриальных парков рассмотрена в (Patnaik, Pouyamoli, 2015); выявлен их потенциал и ограничения на основе SWOT-анализа. Интересной представляется работа румынских ученых (Lupu, Dumencu, Atanasiu, 2016), в которой сформулированы выводы о перспективах солнечной энергетики в Румынии. Проблемы безопасности рабочих мест и выявления потенциальных рисков на производстве обсуждаются в статье (Bhattacharjee, Neogi, Das, 2014).

Метод SWOT-анализа используют для определения направления развития науки (Клеева, 2012), анализа эффективности химико-технологических процессов, включая процессы организационно-технического обслуживания оборудования на предприятиях (Новиков, Гришин, 2012), решения задач управления персоналом (Акмалов, 2013), оценки воздействия на ОС.

Классический SWOT-анализ дает лишь качественные оценки технико-экономической эффективности производственно-технологических и бизнес-процессов на предприятиях, но не всегда позволяет принять наилучшие, научно-обоснованные, организационно-управленческие решения. Вместе с тем простота применения SWOT-анализа и возможность относительно быстро получать результаты требуют совершенствовать метод SWOT-анализа (Юрлов, Плеханов, Бобкова, 2013). И это подтверждается рядом публикаций о модификации метода. Так, в (Андриянова, 2012) при разработке традиционной матричной модели SWOT-анализа предлагается использовать *ранжирование параметров* по совокупности показателей с учетом неопределенности внешней среды. Предложена методика многокритериального выбора эффективных стратегий развития предприятия атомной отрасли с применением SWOT-анализа (Брыкалов, Юрлов, 2016). Для более точного анализа стратегий развития предприятия предлагается применять *взвешенные балльные оценки* (Кадышева, 2012).

В работах (Jiang, Zhuang, 2017; Liu, Wu, Zhang., Zhang, 2017) представлен процесс количественного метода SWOT-анализа, проанализированы сильные и слабые стороны, возможности и угрозы, влияющие на развитие гражданско-военной интеграции в области техники и оборудования.

Для учета изменчивости факторов внешней и внутренней среды предложена *динамическая модификация* метода SWOT-анализа (Михненко, 2015), согласно которой при оценке степени взаимосвязи “сильные стороны — возможности” следует использовать динамическую переменную — скорость нарастания или снижения этой взаимосвязи в текущий период анализа. Еще одна особенность этой модификации состоит в учете степени неопределенности информации о динамических показателях видов деятельности компании (среднеквадратического разброса мнений группы экспертов). Применение взвешенных динамических оценок, учитывающих расхождение взглядов экспертов, позволяет сконцентрировать внимание на наиболее достоверных характеристиках изменений внутренней и внешней среды предприятия.

Для корректного анализа общих показателей конкурентоспособности и эффективности предприятия с учетом объективного состояния внешней среды, наряду с методом SWOT-анализа, широкое распространение получает *метод эконометрики* в различных видах инжиниринга при оценке технико-экономической эффективности и в реинжиниринге бизнес-процессов предприятий (Мошев, 2016; Мешалкин, Катерищук, Василенко, 2014; Айвазян, Афанасьев, Руденко, 2014; Кочегуров, Константинова, Гальченко, 2011; Пранов, 2012). Более активное применение математических методов в SWOT-анализе позволит использовать его при разработке алгоритмическо-информационного обеспечения для информационно-аналитических систем управления предприятиями (Пыжлаков, 2008).

Следует заметить, в вышеупомянутых работах проводился анализ эффективности только одного объекта управления: отрасли экономики, организации, подразделения предприятия и т.п. В работах (Винокуров и др., 2016; Vinokurov et al., 2016) использован метод SWOT-анализа для сравнения эффективности двух объектов управления. На основе сопоставления матриц SWOT-анализа двух химических технологий сделан вывод о выборе наиболее перспективной.

В настоящей статье предложен новый, *модифицированный непараметрическо-статистический метод SWOT-анализа* для сравнения эффективности и оценки целесообразности смены химических технологий при определении направлений научно-технического развития отрасли.

2. СУЩНОСТЬ МОДИФИЦИРОВАННОГО НЕПАРАМЕТРИЧЕСКО-СТАТИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА SWOT-АНАЛИЗА

Сопоставление показателей эффективности (физико-химических, технологических, эколого-экономических), полученных по одинаковым методикам, для различных состояний объекта (химическая технология) определяет сдвиг.

В нашем исследовании *сдвиг* — ожидаемый результат (положительный (+1), нулевой (0) или отрицательный (−1)) в изменении технико-экономических показателей эффективности после перехода к использованию новой технологии взамен действующей. Статистическая обработка показателей сдвига позволяет оценить достоверность ожидаемых результатов до принятия окончательного управленческого решения о смене технологии.

Для обеспечения достоверности решений о целесообразности замены или модернизации существующей технологии модифицированный метод SWOT-анализа включает применение одного из критериев непараметрической статистики — *критерия знаков* (G-критерий), который традиционно применяют к качественной оценке сдвигов (Холлендер, Вулф, 1983).

Пусть случайная величина X_1 (показатели эффективности первой химической технологии) имеет распределение $F(x)$, а другая случайная величина X_2 (показатели эффективности второй химической технологии) имеет распределение $G(x)$, причем $G(x) = F(x + \Delta)$, где Δ — абстрактный параметр, характеризующий состояние изучаемого объекта.

Рассматриваются две выборки — $x_1, \dots, x_n$ (выборка из $F(x)$, в нашем исследовании это результаты опроса экспертов о показателях эффективности первой технологии) и $y_1, \dots, y_n$ (выборка из $G(x)$, в нашем исследовании это результаты опроса экспертов о показателях эффективности второй технологии) объемов n ; $F(x)$ и $G(x)$ — неизвестные функции распределения.

Требуется проверить нулевую гипотезу: $H_0: F(x) = G(x)$, т.е. $\Delta = 0$. В нашем исследовании это будет означать, что замена одной технологии на другую не дает значимых изменений в показателях эффективности. В качестве альтернативы мы выбрали гипотезу $H_1: \Delta \neq 0$, что означает наличие значимых изменений в показателях эффективности при переходе на другую технологию.

Мы использовали G-критерий знаков для установления общего направления сдвига показателей эффективности. Он позволяет установить, в какую сторону в выборке в целом изменяются показатели при переходе от первой технологии ко второй: изменяются ли показатели в сторону улучшения, повышения или усиления или, наоборот, в сторону ухудшения, понижения или ослабления. Сдвиги, которые кажутся преобладающими, называют *типичными*, а сдвиги более редкого направления — *нетипичными*. Если показатели не повышаются и не понижаются, то такие сдвиги называются *нулевыми*, и в критерии знаков они исключаются из рассмотрения. При этом число сопоставляемых пар уменьшается на число таких нулевых сдвигов.

Суть критерия знаков состоит в том, что он определяет, не слишком ли много наблюдается *нетипичных* сдвигов, чтобы сдвиг в типичном направлении считать преобладающим. Чем меньше нетипичных сдвигов, тем вероятнее, что преобладание типичного сдвига будет достоверным.

Механизм применения критерия заключается в определении сдвигов по каждому показателю. При этом размер сдвига количественно не подсчитывается, ставится просто знак “+”, если наблюдается улучшение, или знак “−”, если — ухудшение. Данные вносят в таблицу. Если изменений не наблюдается, то в таблице пишут ноль. Нулевые реакции исключают из рассмотрения, при этом объем выборки уменьшится на число нулевых реакций (n_0): $n' = n - n_0$.

После определения преобладающих направлений изменений сдвиги в преобладающем направлении считают типичными. Число нетипичных сдвигов является экспериментальным значением

G -критерия ($G_{\text{эксп}}$). Критическое значение критерия $G_{\text{кр}}$ для данного n' и заданного уровня значимости α определяют по таблице. При сравнении $G_{\text{эксп}}$ и $G_{\text{кр}}$, если $G_{\text{эксп}} \leq G_{\text{кр}}$, H_0 отвергается, т.е. сдвиг в типичную сторону можно считать статистически достоверным. В нашем исследовании это будет указывать на наличие статистически значимых изменений показателей эффективности при переходе на другую технологию. Если $G_{\text{эксп}} > G_{\text{кр}}$, нет оснований отвергать H_0 и преобладание сдвигов в типичную сторону является случайным. В нашем исследовании это будет указывать на отсутствие статистически значимых изменений показателей эффективности при переходе на другую технологию.

Предложенный модифицированный метод SWOT-анализа с использованием G -критерия знаков включает следующие этапы.

Этап 1. Выбрать виды и сформулировать цель анализа эффективности химических технологий.

Этап 2. Разработать анкету для опроса (интервью) экспертов. Создать (сформировать) группу экспертов согласно квалификационным показателям.

Этап 3. Провести опрос экспертов и по его результатам сформировать модифицированную матрицу SWOT-анализа.

Особенность предложенного метода состоит в том, что рассматривается эффективность одновременно двух видов технологий, что обуславливает применение измененных традиционных матриц SWOT-анализа (табл. 1).

Таблица 1. Вид модифицированной матрицы SWOT-анализа для сравниваемых объектов

Сильные стороны объекта 1	Сильные стороны объекта 2
...	...
Слабые стороны объекта 1	Слабые стороны объекта 2
...	...
Возможности объекта 1	Возможности объекта 2
...	...
Угрозы для объекта 1	Угрозы для объекта 2
...	...

Из составленного перечня сильных и слабых сторон сравниваемых объектов (технологий) возможностей технологий и угроз внешней среды сформировать матрицу показателей эффективности объектов для статистического анализа.

Этап 4. На основании результатов опроса экспертов определить направление сдвигов для каждого показателя при смене одного объекта на другой (при переходе от одной технологии к другой):

– направление (положительное или отрицательное) изменений в показателях эффективности, которое считают типичным, т.е. наиболее частое;

– число нетипичных (наиболее редких) сдвигов, которое считают экспериментальным значением G -критерия ($G_{\text{эксп}}$).

G -критерий знаков, предназначенный для определения общего направления сдвига исследуемого признака, позволяет установить, в какую сторону в целом изменяются показатели при переходе от одного объекта к другому или при оценке результата воздействия.

Этап 5. Для статистической оценки показателей сдвигов рассмотреть исходную основную гипотезу H_0 : “Преобладание типичного направления сдвига является случайным” — и альтернативную ей гипотезу H_1 : “Преобладание типичного направления сдвига не является случайным”. Гипотеза H_1 будет принята, если на основании сопоставления экспериментального значения критерия $G_{\text{эксп}}$ с критическим $G_{\text{кр}}$ основная гипотеза H_0 будет отвергнута.

Этап 6. Сравнить экспериментальное значение критерия $G_{\text{эксп}}$ с критической величиной этого критерия $G_{\text{кр}}$, соответствующей заданной доверительной вероятности p . Если $G_{\text{эксп}} < G_{\text{кр}}$, то ги-

потеза H_0 отвергается, т.е. сдвиг в типичную сторону можно считать достоверным при заданной доверительной вероятности p .

Этап 7. Сделать вывод о целесообразности замены исходной технологии на новую.

3. ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО НЕПАРАМЕТРИЧЕСКО-СТАТИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА SWOT-АНАЛИЗА ДЛЯ ВЫБОРА НАИЛУЧШЕЙ ТЕХНОЛОГИИ

Рассмотрим применение предложенного модифицированного непараметрическо-статистического метода SWOT-анализа для научно-обоснованного выбора эффективных технологий электрохимического нанесения покрытий, которые широко применяются на различных предприятиях.

Ранее традиционный метод SWOT-анализа применялся для сравнения эффективности двух технологий хромирования поверхностей (Винокуров и др., 2016; Vinokurov et al., 2016) — на основе электроосаждения хрома из растворов токсичной хромовой кислоты (Cr-6) (Вашенко, Солодкова, Кудрявцев, 2003) и из растворов экологически менее опасных соединений хрома более низкой валентности (Cr-3) (Азарко, Кузнецов, Шахамайер, 1997; Данилов, Проценко, Китык, 2014).

В соответствии с этапом 1 предложенного модифицированного метода сформулирована задача принятия научно-обоснованного решения о направлениях развития и модернизации технологий хромирования на основе уменьшения концентрации компонентов в технологических растворах (Fadina et al., 2013; Vinokurov et al., 2012), что снижает металлоемкость производства и уменьшает объем промывных вод в соответствии с принципами обеспечения ресурсосбережения и охраны ОС (Мешалкин, Тобажнянский, Капустенко, 2011). Другое направление модернизации технологий гальванотехники состоит в применении новых составов растворов, обеспечивающих меньшую нагрузку на очистные сооружения и ОС. Таким образом, возможны два направления развития технологий: усовершенствование и модернизация имеющихся технологий или переход на новые технологии.

На этапе 2 авторы составили анкету для опроса экспертов в рамках проведения сравнительного SWOT-анализа. Анкета имеет вид, представленный в табл. 1.

При анализе сильных и слабых сторон (преимуществ и недостатков) технологического процесса хромирования экспертам предлагалось учесть следующие свойства рассматриваемых объектов: характеристика компонентов раствора (токсичность, стоимость); характеристика растворов; условия электроосаждения; характеристика процесса (рассеивающая способность, чувствительность к примесям); характеристика оборудования (оснастки); контроль параметров процесса (анализ раствора); характеристика покрытий.

Предлагалось рассмотреть факторы, использование которых создаст новые преимущества и позволит сократить затраты, расширить рынок и т.п., а основные препятствия и проблемы, возникающие во внешней среде предприятия, т.е. факторы, которые могут ухудшить положение предприятия, считать угрозами предприятия.

Для проведения анализа была сформирована экспертная группа из специалистов-практиков, к которым предъявлялись следующие требования: наличие высшего химико-технологического (технического) образования, опыт научных исследований и/или практической производственной деятельности в предметной области, наличие степени доктора (кандидата) химических (технических) наук, возраст — старше 35 лет. Общее число экспертов, отобранных для участия в опросе, составило девять человек, работающих в вузах (Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова), в Российской академии наук (Институт физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина РАН), на предприятиях (ОАО “Новомосковский авторемонтный завод”, ЗАО “Узловский машиностроительный завод”, АО “Алексинский завод тяжелой промышленной арматуры”, АО “Кимовский радиоэлектромеханический завод”, ОАО “Богородицкий завод теххимических изделий”).

На этапе 3 на основании результатов опроса экспертов проведены объединение и систематизация данных, дальнейший комплексный анализ качественных суждений о двух технологиях и по-

строена модифицированная матрица SWOT-анализа, объединяющая мнения экспертов. Фрагмент полученной модифицированной матрицы приведен в табл. 2.

Таблица 2. Фрагмент “Возможности технологических процессов хромирования из растворов хромовой кислоты (Cr-6) и из растворов солей хрома (III) (Cr-3)” модифицированной матрицы SWOT-анализа для сравниваемых объектов

Возможности процесса (Cr-6)	Возможности процесса (Cr-3)
Возможность снижения концентрации хромовой кислоты в растворе. Возможность использования мембранного электролиза или ионного обмена для извлечения избытка катионов металлов. Возможность создания замкнутого цикла водопотребления. Возможность рекуперации хромовой кислоты из ванн улавливания. Возможность конструирования технологического оборудования, предотвращающего эмиссию соединений Cr(VI) в рабочую воздушную зону и сточные воды. Возможность автоматизации анализа и поддержания концентрации компонентов в заданных пределах	Возможность интенсификации процесса за счет повышения плотности тока. Полное или частичное устранение недостатков электролита позволит сократить затраты на нанесение покрытия. Сокращение затрат на природоохранные мероприятия. Ожидание лояльности природоохранных, экологических и т.п. организаций и служб (в сравнении с использованием технологии на основе Cr(VI)). Снижение затрат на охрану труда персонала

Ранее составленные матрицы SWOT-анализа (Винокуров и др., 2016) свидетельствуют о том, что каждая технология (Cr-6 или Cr-3) имеет свои сильные и слабые стороны — соответственно достоинства и недостатки, — что требует проведения сравнительного анализа их эффективности для принятия научно-обоснованного решения о направлениях модернизации гальванической технологии.

Системный анализ факторов внутренней среды показал, что сильными сторонами технологии (Cr-6) являются малокомпонентный состав исходного технологического раствора с высокой электропроводностью и малой чувствительностью к примесям, а также простота химического анализа и изменения состава раствора.

Для второй технологии (Cr-3) можно отметить несколько меньшее число сильных сторон, к которым относятся низкая токсичность компонентов раствора, а также меньшая концентрация ионов хрома в растворе, менее высокая рабочая температура раствора и более высокая производительность нанесения покрытий, чем в технологии (Cr-6).

Отмечая сильные стороны технологии (Cr-3), эксперты употребили такие нечеткие оценки (Мешалкин, 1995), как: “возможно”, “для отдельных растворов”, “в отдельных случаях”, что особенно характерно для оценки свойств покрытий.

Наиболее существенные показатели эффективности для технологии (Cr-3): выполнение требований природоохранных организаций (в сравнении с использованием технологии на основе Cr(VI), сокращение затрат на природоохранные мероприятия и охрану труда персонала, а также возможность интенсификации электрохимического процесса за счет большего КПД электрохимической реакции).

К слабым сторонам технологии (Cr-6) в первую очередь относится токсичность и агрессивность основного компонента раствора, значительные затраты на обеспечение требований охраны труда и экологического законодательства, также слабой стороной этой технологии является невысокая скорость осаждения покрытий и относительно высокая температура раствора.

К слабым сторонам, т.е. к существенным недостаткам технологии (Cr-3), можно отнести ограниченность толщины качественных покрытий, сложную химию соединений хрома (III), высокую стоимость основных компонентов раствора, его многокомпонентность, низкую электропроводность и, следовательно, неэффективное расходование энергоресурсов при электролизе.

Цвет покрытий при использовании технологии (Cr-3), как правило, отличается от цвета покрытий, полученных с использованием технологии (Cr-6), что не всегда устраивает потребителя. Технология (Cr-3) чувствительна к примесям катионов, анионов и органических веществ, что не так характерно для технологии (Cr-6). Сложность технологии (Cr-3) требует высокой квалификации персонала и затрат на ее постоянное повышение.

При рассмотрении возможностей и угроз внешней среды (Винокуров и др., 2016) можно отметить следующее. Для технологии (Cr-6) “Угрозы внешней среды” обусловлены возможным снижением объемов выпуска токсичного компонента, ужесточением природоохранного законодательства и требований по охране труда, а также появлением на рынке инновационных технологий с меньшей стоимостью.

Для технологии (Cr-3) “Внешние угрозы” вызваны зависимостью экспортной стоимости солей Cr(III) и технологическим консерватизмом.

На основе анализа и обобщения полученных в работе (Винокуров и др., 2016) данных составлена итоговая таблица (табл. 3). В ней приведены суммарные числа факторов, отнесенных к сильным, слабым сторонам и возможностям исследуемых технологий, а также угрозам со стороны внешней среды для каждой. По результатам сравнения двух чисел в каждой категории определена преимущественная технология. Большее число сильных сторон и возможностей и меньшее число слабых сторон и угроз дает возможность считать одну из технологий предпочтительной. При сравнении сильных и слабых сторон предпочтения более убедительные, так как разница в значениях составляет 6–7 единиц (18 против 11 и 20 против 26). Различия в возможностях и угрозах не столь существенны.

Таблица 3. Итоговая таблица сравнения двух технологий на основе модифицированного SWOT-анализа

Технология Cr-6	Технология Cr-3	Преимущественная технология
Число факторов, отнесенных к сильным сторонам технологии 18	11	Cr-6
Число факторов, отнесенных к слабым сторонам технологии 20	26	Cr-6
Число факторов, отнесенных к возможностям технологии 6	5	Cr-6
Число факторов, отнесенных к угрозам технологии 6	4	Cr-3

Анализ итоговой таблицы модифицированного SWOT-анализа в табл. 3 позволяет сформулировать следующие предварительные выводы. Технология с использованием (Cr-6) остается основной технологией получения хромовых покрытий. Являясь базовой технологией, она обеспечивает устойчивую позицию предприятия на рынке. Показателем эффективности в данном случае может выступать материалоемкость технологии (Cr-6). Чем дольше период возможной эксплуатации технологического ресурса (раствора), тем этот показатель лучше.

С этих позиций стабильность растворов в технологии (Cr-6) как сильная сторона технологии создает именно такой ресурс — возможность длительной эксплуатации раствора и как следствие — сокращение затрат на реагенты.

Таким образом, можно предположить, что применение экспериментальной технологии (Cr-3) не дает предприятию существенных конкурентных преимуществ, и, возможно, более эффективным решением является модернизация классической технологии (Cr-6).

На этапе 4 для дальнейших исследований из элементов исходной матрицы SWOT-анализа (Винокуров и др., 2016) сформированы группы показателей технико-экономической эффективности технологии: физико-химических, технологических, эколого-экономических. В каждой группе выделялись подгруппы, описание которых дано в соответствующих таблицах (табл. 4–6). Так, например, элемент матрицы SWOT-анализа “Наводороживание стальной основы” является физико-химическим показателем, а эмиссия компонентов раствора в атмосферу цеха и отравление окружающей территории — эколого-экономическим показателем. С учетом мнений экспертов сформирован перечень основных технико-экономических показателей для оценки эффективности технологий, куда вошли, например, такие показатели, как коррозионная стойкость покрытия, суммарная концентрация компонентов раствора, токсичность растворов. Для обеспечения достоверности решения о смене технологии хромирования согласно предложенному модифицирован-

ному методу SWOT-анализа необходимо установить сдвиги в изменении указанных показателей эффективности технологий после применения новой (Cr-3) технологии взамен старой (Cr-6) (существующей) и дать их оценку (положительный (+1), нулевой (0) или отрицательный (–1)).

Таблица 4. Оценка сдвига основных физико-химических показателей эффективности применения новой технологии хромирования на основе соединений Cr-3

Показатели эффективности технологии хромирования	Оценка сдвига показателей при применении технологии на основе Cr-3
1. Характеристика применяемых растворов	(+1) – 1; (0) – 1; (–1) – 3
1.1. Компонентный состав	–1
1.2. Суммарная концентрация всех компонентов	0
1.3. Возможность снижения концентрации соединений хрома	–1
1.4. Коррозионная агрессивность	+1
1.5. Электропроводность	–1
2. Характеристика физико-химических свойств покрытий	(+1) – 0; (0) – 3; (–1) – 1
2.1. Получение покрытий, обладающих набором необходимых свойств (высокие микротвердость, жаростойкость, износостойкость, химическая стойкость к большинству кислот, щелочей и солей)	0
2.2. Идентичность цвета	–1
2.3. Возможность улучшения характеристик покрытия при получении сплавов хрома	0
2.4. Наводороживание стальной основы	0

Типичным значением сдвигов в физико-химических показателях эффективности технологии является отрицательное, нетипичным — положительное. Число типичных сдвигов — 4, нетипичных — 1.

Таблица 5. Оценка сдвига основных технологических показателей эффективности технологии в результате применения новой технологии хромирования на основе соединений Cr-3

Технологические показатели эффективности технологии хромирования	Оценка сдвига показателей при применении технологии на основе Cr-3
1. Условия технологии электроосаждения покрытий	(+1) – 0; (0) – 0; (–1) – 1
1.1. Относительно высокая объемная плотность тока	–1
1.2. Высокая плотность тока	–1
1.3. Высокая или менее высокая температура	+1
2. Характеристика технологического процесса	(+1) – 2; (0) – 6; (–1) – 12
2.1. Расход 6 или 3 электронов на формирование одного атома покрытия	+1
2.2. Стабильность компонентного состава используемого раствора	–1
2.3. Простота поддержания стабильных параметров процесса	–1
2.4. Устойчивость к высоким концентрациям (до 5–10 г/л) примесей катионов	–1
2.5. Чувствительность к примесям анионов	0
Всего 20 показателей	
3. Характеристика технологического оборудования и оснастки	(+1) – 4; (0) – 0; (–1) – 1
3.1. Применение источников тока с низким выходным напряжением	–1
3.2. Организация отдельных коллекторов для хромовых стоков	+1
3.3. Создание отдельных воздухопроводов для отсасывания воздуха от ванн хромирования	+1
Всего 5 показателей	
4. Контроль параметров технологического процесса, анализ раствора	(+1) – 0; (0) – 0; (–1) – 3
4.1. Простота анализа состава раствора	–1
4.2. Корректировка раствора	–1
4.3. Возможность автоматизации анализа и стабилизации концентрации компонентов в заданных пределах	–1
5. Другие показатели	(+1) – 0; (0) – 1; (–1) – 1

Типичным сдвигом в технологических показателях эффективности технологии является отрицательный, а нетипичным — положительный. Число типичных сдвигов — 19, нетипичных — 7.

Таблица 6. Оценка сдвига основных эколого-экономических показателей эффективности технологии в результате применения новой технологии хромирования на основе соединений Cr-3

Эколого-экономические показатели эффективности технологии хромирования	Оценка сдвига показателей при применении технологии на основе Cr-3
1. Характеристика компонентов раствора	(+1) — 1; (0) — 0; (–1) — 2
1.1. Токсичность компонентов раствора (оксид хрома (VI))	+1
1.2. Стоимость компонентов раствора	–1
1.3. Стоимость основного компонента растворов — солей Cr (III) — сильно зависит от внешних рынков	–1
2. Другие показатели	(+1) — 2; (0) — 2; (–1) — 1
2.1. Выход на рынок иностранных конкурентов с более низкими издержками	0
2.2. Применение новых технологий предприятиями родственного профиля	0
2.3. Вероятность залпового сброса раствора при невозможности восстановления его состава	–1
2.4. Применение специальных методов очистки сточных вод от соединений хрома (VI), затраты на обезвреживание стоков	+1
2.5. Эмиссия компонентов раствора в атмосферу цеха и отравление окружающей территории	+1

Число положительных и отрицательных сдвигов в эколого-экономических показателях в результате смены технологий одинаковое и составляет 3.

Анализ данных о сдвигах показателей эффективности двух технологий (см. табл. 4–6) показывает, что число ненулевых сдвигов составляет 38.

Типичное, т.е. преобладающее, направление изменений при смене технологии хромирования является отрицательным, и число таких сдвигов равно 26. Число нетипичных, т.е. положительных, сдвигов составляет 12, что соответствует $G_{\text{экср}}$.

На этапе 5 формулируются две гипотезы.

Исходная и основная H_0 : “Преобладание отрицательных изменений (типичных) сдвигов в показателях технико-экономической эффективности использования технологии (Cr-3) вместо (Cr-6) является случайным”.

Альтернативная гипотеза H_1 : “Преобладание отрицательных изменений (типичных) сдвигов в последствиях технико-экономической эффективности использования технологии (Cr-3) вместо (Cr-6) является неслучайным”.

На этапе 6 сравнение гипотез H_0 и H_1 и их оценку проводят, как правило, для доверительной вероятности $p = 0,95$.

При сопоставлении значений $G_{\text{экср}}$ и $G_{\text{кр}}$ для $n = 38$ и доверительной вероятности 0,95 видно, что $G_{\text{экср}} < G_{\text{кр}}$ ($p = 0,95$), и, следовательно, H_0 отвергается, а H_1 принимается, т.е. сдвиг в типичную сторону можно считать достоверным при доверительной вероятности 0,95.

Таким образом, на этапе 7 в результате применения модифицированного непараметрическо-статистического метода SWOT-анализа можно сделать вывод о целесообразности модификации классической технологии хромирования (Cr-6), а не замены ее новой (Cr-3).

4. ВЫВОДЫ

На основании проведенной работы можно сделать следующие выводы.

1. Предложен модифицированный непараметрическо-статистический метод SWOT-анализа, позволяющий количественно оценить достоверность выводов об изменении технологий.

2. Предложенный метод может быть использован для решения задач об изменении технологий для разработки научно-обоснованных стратегий развития предприятий (производств).

3. Предложенный метод применен для оценки технико-экономической эффективности изменения технологий хромирования. Показано, что на современном этапе технология (Cr-6) остается наиболее эффективной технологией получения хромовых покрытий.

Применение технологии (Cr-3) не даст предприятию существенных конкурентных преимуществ, и, возможно, более эффективным является проведение мероприятий, связанных с модернизацией классической технологии (Cr-6).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Азарко О.Е., Кузнецов В.В., Шахмайер С.Р. (1997). Электроосаждение толстых твердых хромовых покрытий из электролитов на основе трехвалентного хрома // *Гальванотехника и обработка поверхности*. Т. V. № 4. С. 25–32.
- Айвазян С.А., Афанасьев М.Ю., Руденко В.А. (2014). Исследование зависимости случайных составляющих стохастической производственной функции при оценке технической эффективности // *Прикладная эконометрика*. № 34 (2). С. 3–18.
- Акмалов Р. (2013). SWOT-анализ в HR. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.executive.ru/management/practices/1841025-swot-analiz-v-hr>, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: июль 2017 г.).
- Андрианова И.Д. (2015). SWOT-анализ предприятия с использованием ранжирования параметров по совокупности показателей // *Современные тенденции развития науки и технологий*. № 8–9. С. 6–8.
- Богомолова В.Г. (2004). SWOT-анализ: теория и практика применения // *Экономический анализ: теория и практика*. № 17. С. 57.
- Брыкалов С.М., Юрлов Ф.Ф. (2016). Методика многокритериального выбора эффективных стратегий предприятия атомной отрасли при использовании SWOT-анализа // *Экономика: теория и практика*. № 2 (42). С. 76–84.
- Вашенко С.В., Солодкова Л.Н., Кудрявцев В.Н. (2003). Высокопроизводительный электролит износостойкого хромирования // *Гальванотехника и обработка поверхности*. Т. 9. № 3. С. 31.
- Винокуров Е.Г., Невмятулина Х.А., Бурухина Т.Ф., Графушин Р.В., Бондарь В.В. (2016). SWOT-анализ технологии хромирования // *Компетентность*. № 4. С. 27–32.
- Данилов Ф.И., Проценко В.С., Китык А.А. (2014). Оценка защитной способности хромовых гальванопокрытий, осажденных из сульфатного и метансульфонатного электролитов на основе Cr(III) // *Физикохимия поверхности и защита материалов*. Т. 50. № 5. С. 553–560.
- Кадышева Е. (2012). Методика проведения SWOT-анализа. Образцы матриц SWOT. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.businessstuning.ru/pm/80-swot-analiz-cto-eto-metodika-provedeniya-swot-analiza.html>, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: июль 2017).
- Клеева Л.Л. (2012). SWOT-анализ развития фундаментальной науки в России // *Компетентность*. № 2. С. 12–19.
- Котлер Ф., Бергер Р., Бикхофф Н. (2012). Стратегический менеджмент по Котлеру: лучшие приемы и методы. М.: Альпина Паблишер.
- Кочегуров В.А., Константинова Л.И., Гальченко В.Г. (2011). Инженерная эконометрика в задачах системного анализа // *Известия Томского политехнического университета*. Т. 319. № 2. С. 16–21.
- Кривцов А.И. (2014). Концепции управления изменениями // *Фундаментальные исследования*. № 12 (3). С. 572–577.
- Мешалкин В.П. (1995). Экспертные системы в химической технологии: основы теории, опыт разработки и применения. М.: Химия.
- Мешалкин В.П. (2010). Ресурсоэнергоэффективные методы энергообеспечения и минимизации отходов нефтеперерабатывающих производств. Основы теории и наилучшие практические результаты. М., Генуя: Химия.
- Мешалкин В.П., Катерищук М.Ю., Василенко Е.А. (2014). Методика формирования комплексной оценки эффективности реинжиниринга бизнес-процессов на промышленном предприятии // *Известия вузов. Серия: Экономика. Финансы и управление производством*. № 2 (20). С. 87–92.
- Мешалкин В.П., Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А. (2011). Основы теории ресурсоэффективных экологически безопасных технологий нефтепереработки. Харьков: НГУ “ХПИ”.
- Михненко П.А. (2015). Динамическая модификация SWOT-анализа // *Экономический анализ: теория и практика*. № 18 (417). С. 60–68.

- Мошев Е.Р., Ромашкин М.А., Мешалкин В.П., Премаева Е.Г. (2016). Модели и эвристическо-вычислительные алгоритмы принятия инженерных решений по интегрированной логистической поддержке промышленных трубопроводных систем // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология*. № 3. С. 129–157.
- Новиков В.А., Гришин А.А. (2012). SWOT-анализ функционирования процесса // *Компетентность*. № 4. С. 26–30.
- Пранов Б.М. (2012). Методы многомерных статистических исследований в проблемах техносферной безопасности // *Технологии техносферной безопасности*. Вып. 6 (46). С. 1–8.
- Пыжлаков Д.С. (2008). Сила и возможности. Концепция динамического SWOT-анализа // *Российское предпринимательство*. № 6 (1). С. 133–138.
- Холлендер М., Вулф Д.А. (1983). Непараметрические методы статистики. Адлер Ю.П., Тюрин Ю.Н. (пер. с англ., ред.). М.: Финансы и статистика.
- Юрлов Ф.Ф., Плеханова А.Ф., Бобкова Т.В., Колесов К.И., Болоничева Т.В., Галкин К.Б. (2013). Стратегическое планирование деятельности НПО и промышленных предприятий на основе портфельного и SWOT-анализа. Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. П.Е. Алексеева.
- Bhattacharjee G., Neogi S., Das S.K. (2014). Phenol-Formaldehyde Runaway Reaction: A Case Study // *International Journal of Industrial Chemistry*. Vol. 5. No. 2. P. 1–6.
- Fadina S.V., Vinokurov E.G., Burukhina T.F., Kolesnikov V.A. (2013). Total Concentration of Main Components in Solutions for Metal Electroplating as a Criterion for Classifying and Choosing Resource-Saving Compositions of Solutions // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. Vol. 47. No. 5. P. 593–599.
- Jiang Y., Xie W., Zhuang B. (2017). The Civil-Military Integration Development of Equipment Construction Based on SWOT Quantitative Method. In: “Proceedings of the 29th Chinese Control and Decision Conference”. CCDC2017/7979280 P. 4439–4443.
- Liu Z., Wu W., Zhang Y., Zhang M. (2017). SWOT Quantitative Model of Livable Communities’ Construction in China’s Villages and Towns // *Journal of Interdisciplinary Mathematics*. No. 20 (4). P. 1127–1138.
- Lupu A.G., Dumencu A., Atanasiu M.V. (2016). SWOT Analysis of the Renewable Energy Sources in Romania — Case Study: Solar Energy // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 147 (1), 012138.
- Patnaik R., Poyyamoli G. (2015). Developing an Eco-Industrial Park in Pondicherry Region, India — a SWOT Analysis // *Journal of Environmental Planning and Management*. Vol. 58. Is. 6. P. 976–996.
- Scolozzi R., Schirpke U., Morri E. (2014). Ecosystem Services-Based SWOT Analysis of Protected Areas for Conservation Strategies // *Journal of Environmental Management*. Vol. 146. P. 543–551.
- Sun Z. (2012). Research on Enterprise Developmental Strategy Based on the swot Analysis // *Advances in Information Sciences and Service Sciences*. Vol. 4. Is. 11. P. 344–351.
- Vinokurov E.G., Burukhina T.F., Kolesnikov V.A., Fadina S.V. (2012). Concentration Criterion for Classifying Resource-Saving Compositions of Solutions for Metal Electroplating // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. Vol. 46. No. 5. P. 486–491.
- Vinokurov E.G., Meshalkin V.P., Vasilenko E.A., Nevmyatullina H.A., Burukhina T.F., Bondar V.V. (2016). System Analysis of the Efficiency and Competitiveness of Chroming Technologies // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. Vol. 50. No. 5. P. 730–738.

REFERENCES (with English translation or transliteration)

- Aivazian S.A., Afanasiev M. Yu., Rudenko V.A. (2014). Analysis of Dependence between the Random Components of a Stochastic Production Function for the Purpose of Technical Efficiency Estimation. *Applied Econometrics*, 34 (2), 3–18 (in Russian).
- Akmalov R. (2013). SWOT-analysis for HR. Available at: <http://www.e-xecutive.ru/management/practices/1841025-swot-analiz-v-hr> (accessed: July 2017, in Russian).
- Andrianova I.D. (2015). SWOT Analysis of the Company Using the Ranking of the Parameters According to the Overall. *Sovremenniy tendentsii razvitiya nauki i tekhnologii*, 8–9, 6–8 (in Russian).
- Azarko O.E., Kuznetsov V.V., Shakhamayer S.R., Vinokurov E.G. (1997). Electrodeposition of Thick Hard Chromium Coatings from Bath on the Based of Trivalent Chromium. *Electroplating & Surface Treatment*, 5, 4, 25–32 (in Russian).

- Bhattacharjee G., Neogi S., Das S.K.** (2014). Phenol-Formaldehyde Runaway Reaction: A Case Study. *International Journal of Industrial Chemistry*, 5, 2. Article 13, 1–6.
- Bogomolova V.G.** (2004). SWOT Analysis: Theory and Practice of Application. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 17, 57 (in Russian)
- Brykalov S.M., Yurlov F.F.** (2016). Method of Multi-Criteria Selection of an Effective Strategy for Nuclear Industry Enterprise on the Basis of SWOT-Analysis. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 2 (42), 76–84 (in Russian)
- Danilov F.I., Protsenko V.S., Kityk A.A.** (2014). Estimation of the Protective Ability of Chromium Coatings Deposited from Sulfate and Methanesulfonate Electrolytes Based on Cr(III). *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, 50, 5, 672–678.
- Fadina S.V., Vinokurov E.G., Burukhina T.F., Kolesnikov V.A.** (2013). Total Concentration of Main Components in Solutions for Metal Electroplating as a Criterion for Classifying and Choosing Resource-Saving Compositions of Solutions. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 47, 5, 593–599.
- Hollander M., Wolfe D.A.** (1983). Nonparametric Statistical Methods. Moscow: Finansy i statistika (in Russian).
- Jiang Y., Xie W., Zhuang B.** (2017). The Civil-Military Integration Development of Equipment Construction Based on SWOT Quantitative Method. In: “Proceedings of the 29th Chinese Control and Decision Conference”. CCDC2017/ 7979280, 4439–4443.
- Kadysheva E.** (2012). The Method of the SWOT Analysis. Samples of SWOT Matrices. Available at: <http://www.businessstuning.ru/pm/80-swot-analiz-chto-eto-metodika-provedeniya-swot-analiza.html> (accessed: July 2017, in Russian).
- Kleeva L.L.** (2012). SWOT-Development Analysis of Fundamental Science in Russia. *Kompetentnost*, 2, 12–19 (in Russian).
- Kochegurov V.A., Konstantinova L.I., Gal'chenko V.G.** (2011). Engineering Econometrics in Problems of System Analysis. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 319, 2, 16–21 (in Russian).
- Kotler P., Berger R., Bickhoff N.** (2012). Strategic Management According to Kotler: The Best Techniques and Methods. Moscow: Alpina Publisher (in Russian).
- Krivtsov A.I.** (2014). The Concept of Change Management. *Fundamental research*, 12 (3), 572–577 (in Russian).
- Liu Z., Wu W., Zhang Y., Zhang M.** (2017). SWOT Quantitative Model of Livable Communities' Construction in China's Villages and Towns. *Journal of Interdisciplinary Mathematics*, 20 (4), 1127–1138.
- Lupu A.G., Dumencu A., Atanasiu M.V.** (2016). SWOT Analysis of the Renewable Energy Sources in Romania — Case Study: Solar Energy. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 147 (1), 012138.
- Meshalkin V.P.** (1995). Expert Systems in Chemical Technology: Fundamentals of Theory, Experience in Development and Application. Moscow: Khimiya (in Russian).
- Meshalkin V.P.** (2010). Resource-and Energy-Efficient Methods of Energy Supply and Minimization of Waste from Oil Refineries. Fundamentals of Theory and Best Practice. Moscow, Genuya: Khimiya (in Russian).
- Meshalkin V.P., Katerishchuk M. Yu., Vasilenko E.A.** (2014). Methods of Formation of Complex Estimation of Efficiency of Reengineering of Business Processes at the Industrial Enterprise. *Izvestia vyssih uchebnykh zavedenij. Seria “Ekonomika, finansy i upravlenie proizvodstvom”*, 2 (20), 87–92 (in Russian).
- Meshalkin V.P., Tovazhnyanskiy L.L., Kapustenko P.A.** (2011). Fundamentals of the Theory of Resource-Efficient and Ecologically Safe Technologies of Oil Refining. KHar'kov: NGU “KhPI” (in Russian).
- Mikhnenko P.A.** (2015). Dynamic Modification of a SWOT Analysis. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 18 (417), 60–68 (in Russian).
- Moshev E.R., Romashkin M.A., Meshalkin V.P., Pregaeva E.G.** (2016). Models and Heuristic Computational Algorithms for Making Engineering Decisions in the Field of Integrated Logistics Support of Industrial Piping Systems. *PNRPU Bulletin. Chemical Technology and Biotechnology*. Khimicheskaya tekhnologiya i biotekhnologiya, 3, 129–157 (in Russian).
- Novikov V.A., Grishin A.A.** (2012). SWOT-Analysis of the Process Functioning. *Kompetentnost*, 4, 26–30 (in Russian).
- Patnaik R., Poyyamoli G.** (2015). Developing an Eco-Industrial Park in Pondicherry Region, India — a SWOT Analysis. *Journal of Environmental Planning and Management*, 58, 6, 976–996.
- Pranov B.M.** (2012). Multidimensional Statistical Methods in Problems of Technospheric Safety. *Technology of Technosphere Safety*, 6 (46), 1–8 (in Russian).
- Pyzhlakov D.S.** (2008). The Concept of Dynamic SWOT Analysis. *Russian Journal of Entrepreneurship*, 6 (1), 133–138.

- Scolozzi R., Schirpke U., Morri E. (2014). Ecosystem Services-Based SWOT Analysis of Protected Areas for Conservation Strategies. *Journal of Environmental Management*, 146, 543–551.
- Sun Z. (2012). Research on Enterprise Developmental Strategy Based on the SWOT Analysis. *Advances in Information Sciences and Service Sciences*, 4, 11, 344–351.
- Vashchenko S.V., Solodkva L.N., Kudryavtsev V.N. (2003). High-Performance Wear-Resistant Chromium Plating Bath. *Electroplating & Surface Treatment*, 9, 3, 31.
- Vinokurov E.G., Meshalkin V.P., Vasilenko E.A., Nevmyatullina Kh.A., Burukhina T.F., Bondar V.V. (2016). System Analysis of the Efficiency and Competitiveness of Chroming Technologies. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 50, 5, 730–738.
- Vinokurov E.G., Burukhina T.F., Kolesnikov V.A., Fadina S.V. (2012). Concentration Criterion for Classifying Resource-Saving Compositions of Solutions for Metal Electroplating. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 46, 5, 486–491.
- Vinokurov E.G., Nevmyatullina Kh.A., Burukhina T.F., Grafushin R.V., Bondar V.V. (2016). SWOT-Analysis of Chromium Plating. *Kompetentnost'*, 4, 27–32 (in Russian).
- Yurlov F.F., Plekhanova A.F., Bobkova T.V., Kolesov K.I., Bolonicheva T.V., Galkin K.B. (2013). Strategic Planning of Scientific-Production Associations and Industrial Enterprises on the Basis of Portfolio and Swot Analysis. Nizhniy Novgorod: Nizhegorodskiy gosudarstvenniy universiyey im. R.E. Alekseeva (in Russian).

Method of the Modified SWOT-Analysis of the Effectiveness of Technology Changes

E.G. Vinokurov^{i, ii}, V.P. Meshalkinⁱ, Kh.A. Nevmyatullina^{i, ii,*},
T.F. Burukhinaⁱ, V.V. Bondarⁱⁱ, S.M. Khodchenkoⁱ

ⁱ Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

ⁱⁱ Russian Institute for Scientific and Technical Information (VINITI RAS), Moscow, Russia

* E-mail: vin-62@mail.ru

Received 29.11.2017

This investigation was supported Ministry of Science and Education of Russian Federation, 10.4556.2017/6.7

Currently, the classical SWOT-analysis is widely used for assessing competitiveness and design a strategy for the development of the management object. The method provides only qualitative assessment of technical and economic efficiency. At the same time only one object (technology, industry, organization, division of the enterprise and other similar objects) is analyzed the effectiveness. The authors propose a new modified nonparametric-statistical method of SWOT-analysis to compare the effectiveness of two control objects. The stages of analysis are described: the choosing of a group of experts, the development of a questionnaire for their survey, the survey, the formation of a modified matrix of SWOT-analysis. The samples of modified SWOT-analysis matrices were developed both separately for each object and for the compared objects in the aggregate. To ensure the reliability of the results, the modified SWOT-analysis method is added with the criterion of nonparametric statistics, which is used to quantify the reliability of shifts — the criterion of signs (G-criterion). An algorithm for applying the criterion to test the hypothesis of the direction of the shift in the performance indicators in the change one object to another is presented. The proposed method was applied for the comparison of technical and economic efficiency of the two processes of chromium plating from solutions based on toxic chromic acid (Cr-6) and from baths based on less environmentally hazardous substances of trivalent chromium (Cr-3). It is shown that now the technology (Cr-6) is more effective technology for the production of chrome coatings then (Cr-3) technology. Perhaps more effective is to carry out modernization of the classical technology (Cr-6).

Keywords: SWOT-analysis, non-parametric statistics, sign criterion, technical economical efficiency, technologies, chemical engineering, electrodeposition, plating, chromium.

JEL Classification: C19, L60, M11, O32.

DOI: 10.31857/S042473880004046-9