



ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ОСНОВНЫХ КЛЮЧЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРОИЗВОДСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ТИПА

Часть 1. Комплекс ключевых показателей и особенности оценок

КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОТОКОВ

Е.А. Гребенюк, Э.Л. Ицкович (ИПУ РАН)

Рассматривается состав комплекса ключевых показателей эффективности работы производства технологического типа. Анализируются особенности определения входящих в комплекс качественных показателей работы производства и погрешности их оценок.

Ключевые слова: показатели эффективности работы производства, оценка качества производственного потока, погрешность оценки качества производственного потока.

Введение

подавляющее большинство подразделений предприятия базирует свою деятельность на получаемой оперативной информации о работе производства; при этом полнота, точность и достоверность фиксации текущего состояния производства непосредственно влияет на качество принимаемых ими решений по его планированию и управлению. Вся информация о ходе производства может быть подразделена на данные его текущего состояния, которые необходимы руководству и большинству подразделений предприятия (так называемые ключевые показатели эффективности работы производства – КПЭ), и на специальные наборы текущих данных, ориентированные по составу и форме подачи на отдельные службы производства (плановую, производственную, технологическую, экономическую, диспетчерскую и т. д.).

Фактически при отсутствии общей системы контроля и учета работы производства работникам разных служб производства ежедневно для принятия решений приходится производить отбор и анализ большого объема данных, получаемых как через информационные сети от разнородных систем контроля и учета, так и через телефонную связь от персонала разных подразделений. Эти данные присутствуют в различных не связанных между собой приложениях, отличающихся по составу и форме их выдачи. Зачастую в них приводится не стыкующаяся или даже противоречивая информация. Все это значительно осложняет работу руководства и производственных служб и сказывается на оперативности и качестве принимаемых ими решений.

Указанные обстоятельства обусловили повышенное внимание предприятий к построению общей, единой автоматизированной системы контроля и учета работы производства и, особенно, к ее наиболее

ответственной части: комплексу КПЭ, поскольку в него входят важнейшие текущие показатели производства и его основных переделов. Эти показатели фиксируют ход выполнения плана предприятия и выделяют все оперативные обстоятельства, влияющие на производительность, качество и себестоимость продукции, которые требуют внимания дирекции предприятия и руководителей служб производства для принятия оперативных, рациональных управляющих решений.

Основные исходные данные для расчета КПЭ: сведения о поступающем сырье и отчеты об отгрузке готовой продукции; значения текущих расходов материальных и энергетических потоков в отдельных участках производства; изменения массы (объема) материала в различных хранилищах производства; результаты лабораторных анализов качественных показателей материалов и т. д. поступают как от отдельных средств и систем автоматизации на всех участках производства, так и от вводимых вручную сведений от операторов технологических агрегатов и от персонала различных производственных служб.

При формировании отдельных ключевых показателей работы производства важным является соблюдение следующих условий:

- определение точности оперативной оценки показателей для правильной ориентации пользователей в полученной информации;
- соблюдение достоверности полученных оценок для предотвращения выдачи пользователям искаженных и ошибочных сведений;
- экономное построение системы оценки показателей для сокращения финансовых затрат на необходимые средства измерения и автоматизации.

Ниже (в первой и второй частях статьи) рассматриваются и анализируются особенности определе-

ния текущих оценок основных ключевых показателей и расчета погрешностей этих оценок.

Состав показателей, входящих в комплекс КПЭ

Естественно, что каждое предприятие технологического типа имеет свою специфику в определении того, какие из текущих показателей контроля и учета работы производства следует выделить в комплекс КПЭ, но есть перечень показателей, которые являются важнейшими для предприятий любого технологического типа. Этот перечень с некоторыми добавлениями и/или сокращениями может считаться типовым перечнем КПЭ.

Наименования таких типовых оперативных учетных показателей за текущие фиксированные интервалы времени (смены, сутки, иногда часы) и типовых текущих контрольных сведений приведены ниже:

- массы (объемы) поступивших сырьевых компонентов за заданный интервал времени и их соотношение с планом/графиком поступления сырья;
- производительность производства и отдельных технологических агрегатов по полуфабрикатам и отдельным видам продукции: выработка полуфабрикатов и готовой продукции за заданный интервал времени;
- соотношение «план-факт» по производительности отдельных агрегатов и производства в целом за заданный интервал времени;
- выпуск и отгрузка отдельных видов готовой продукции за заданный интервал времени и их соотношение с графиком отпуска продукции;
- запасы сырьевых компонентов, полуфабрикатов, различных видов готовой продукции в хранилищах (на складах, в силосах и в резервуарах) на конец заданного интервала времени и их изменение за прошедший интервал;
- выявленные в течение заданного интервала сверхнормативные материальные и энергетические потери и места их обнаружения;
- удельные расходы различных энергоресурсов на выпущенную технологическими агрегатами продукцию в заданном интервале времени и их соотношение с имеющимися нормативами;
- качественные показатели сырьевых компонентов, полуфабрикатов, готовой продукции, если они выходят за пределы установленных норм: наличие брака по производству в целом и по отдельным его переделам за заданный интервал времени; наличие превышения качественных показателей продукции заданным нормам, которые не оправданы экономически;
- сведения о неисправностях и остановках основного оборудования в течение заданного интервала, которые влияют на нормальный ход производства;
- текущие затруднения с обеспечением производства энергетическими ресурсами, которые сказываются на производительности производства;

– возникновение любых нестандартных или аварийных ситуаций, требующих вмешательства и решений руководства предприятия.

Периодические отчеты со значениями КПЭ формируются по заданным формам, сохраняются в СУБД сервера системы контроля и учета работы производства и предоставляются по запросам пользователей, имеющим к ним доступ. Целесообразно в них выделять (например, цветом) те показатели, которые выходят за рамки норм и требуют особого внимания руководства.

Текущие сообщения и полученные значения показателей, требующие немедленной реакции руководства, необходимо сразу по их получению передавать через Internet на мобильные устройства соответствующих пользователей вне зависимости от их местоположения.

Особенности определения текущих значений качественных показателей сырья, полуфабрикатов, продукции по их дискретным лабораторным анализам

Своевременная и достаточно точная оценка качественных показателей производственных компонентов необходима как для недопущения брака продукции, так и для сокращения ненужных затрат при выпуске продукции со сверхнормативными качественными показателями, которые удорожают себестоимость и не компенсируются потребителями.

Качественные показатели сырьевых компонентов, полуфабрикатов, готовой продукции могут измеряться разными способами:

- лабораторными анализами образцов материалов, отобранных из трубопроводов через определенные, достаточно продолжительные интервалы времени (не чаще 1...2 раз в смену);
- непрерывными оценками качественных показателей продукции агрегатов по их статистическим зависимостям от измеряемых физических параметров ТП в агрегатах (виртуальными анализаторами); при этом сами параметры статистических зависимостей настраиваются и периодически корректируются достаточно редкими лабораторными анализами проб этой продукции;
- поточными анализаторами, которые автоматически измеряют качество производственного потока в соответствующем трубопроводе.

Поддержка редких лабораторных анализов виртуальными анализаторами только начинает внедряться на российских предприятиях технологического типа. Они хоть и не очень точно, но зато непрерывно позволяют операторам технологических агрегатов следить за качеством выпускаемой продукции. Необходимость непрерывной оценки качества со временем все более увеличивается, поскольку для создания современных систем автоматизации производства, базирующихся на совершенных алгоритмах управления, требуется достаточно полная текущая информация о качественных показателях продукции технологиче-

ских агрегатов, а она может быть наиболее просто получена с использованием методов виртуального анализа.

Поточные анализаторы не получили широкого распространения. Есть ряд причин весьма ограниченного использования автоматических поточных анализаторов:

- далеко не для всякого показателя качества имеется промышленно выпускаемый автоматический поточный анализатор;
- большинство предлагаемых на рынке автоматических поточных анализаторов настолько дороги, что не каждое предприятие может позволить себе их приобретение;
- большое транспортное запаздывание многих поточных анализаторов, составляющее десятки минут, препятствует их непосредственному применению в системах регулирования ТП.

– многие автоматические поточные анализаторы требуют частой и сложной калибровки, выполнение которой должно осуществляться посторонней организацией, что существенно осложняет их эксплуатацию.

Повсеместное распространение на предприятиях разных отраслей имеет контроль качества дискретными лабораторными анализами образцов продукции. Лабораторные анализы делятся на плановые и внеплановые. Первые ведут повсеместный периодический контроль качества продукции (обычно с пери-

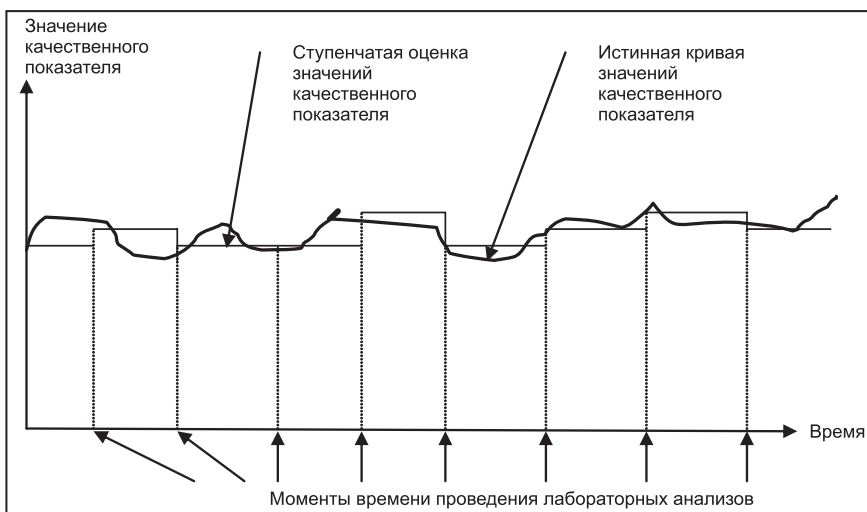


Рис. 1. Изменение качественного показателя во времени и его оценка по лабораторным анализам

одом один, максимум два анализа в смену каждого продукта); вторые заказываются руководителями цехов или технологических служб достаточно редко при каких-либо резких изменениях хода производства, свойств сырья, номенклатуры выпускаемой продукции.

Практически в интервале между соседними лабораторными анализами показателя качества считается, что его значение равно последнему по времени результату анализа, то есть изменение значения показателя качества во времени фиксируется ступенчатой экстраполяцией.

Погрешность текущего значения показателя, измеряемого редкими лабораторными анализами. Общая текущая погрешность оценки качественного показателя состоит из суммы погрешности самого лабораторного анализа и погрешности ступенчатой экстра-

Таблица 1. Отклонения значений измеряемого показателя за время, кратное интервалу между его замерами.

№ столбца			1		2		3		...	k	...	m
№ строки	Время рассматриваемого замера показателя	Значение рассматриваемого показателя	Отклонения показателя X за время, кратное интервалу между замерами:									
			t_g		$2t_g$		$3t_g$		...	kt_g	...	mt_g
0	0	x_0							...			
1	t_g	x_1	Δ_{10}	Δ_{10}^2					...			
2	$2t_g$	x_2	Δ_{21}	Δ_{21}^2	Δ_{20}	Δ_{20}^2			...			
3	$3t_g$	x_3	Δ_{32}	Δ_{32}^2	Δ_{31}	Δ_{31}^2	Δ_{30}	Δ_{30}^2	...			
4	$4t_g$	x_4	Δ_{43}	Δ_{43}^2	Δ_{42}	Δ_{42}^2	Δ_{41}	Δ_{41}^2	...	...	...
...
i	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...
n-1	$(n-1)t_g$	x_{n-1}	$\Delta_{(n-1)(n-2)}$	$\Delta_{(n-1)(n-2)}^2$	$\Delta_{(n-1)(n-3)}$	$\Delta_{(n-1)(n-3)}^2$	$\Delta_{(n-1)(n-4)}$	$\Delta_{(n-1)(n-4)}^2$	...	...	...
n	nt_g	x_n	$\Delta_{n(n-1)}$	$\Delta_{n(n-1)}^2$	$\Delta_{n(n-2)}$	$\Delta_{n(n-2)}^2$	$\Delta_{n(n-3)}$	$\Delta_{n(n-3)}^2$	...	...	...	$\Delta_{n(n-m)}$ $\Delta_{n(n-m)}^2$
Оценки дисперсий погрешностей ступенчатой аппроксимации (формула (1))			$\sigma^2 t_g$		$\sigma^2 2t_g$		$\sigma^2 3t_g$		...	...	...	$\sigma^2 mt_g$

Обозначения в таблице: i – номер рассматриваемого анализа; k- номер анализа, отстоящего от рассматриваемого анализа на интервал времени kt_g ; $\Delta_{i(i-k)} = x_i - x_{i-k}$; m – наиболее удаленный номер анализа, используемый при расчете разницы оценок измеряемого показателя.

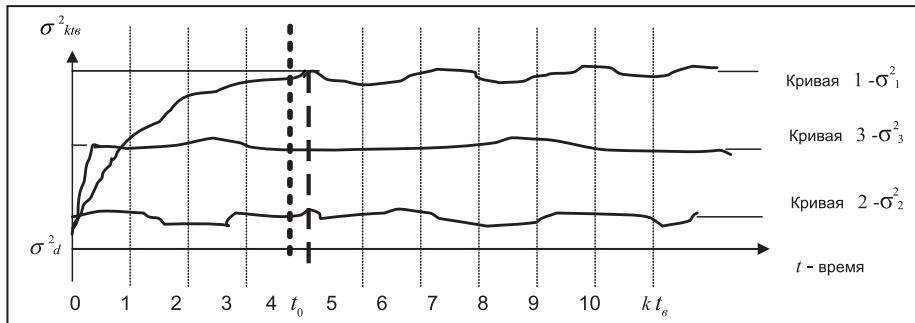


Рис. 2. Возможные виды кривых изменений дисперсии погрешности текущей оценки показателя при разной частоте его замеров, кратных t_0

поляции на момент оценки значения качественного показателя. Эта погрешность имеет максимальное значение в момент, предшествующий очередному лабораторному анализу.

На рис. 1 показана разница между оценкой качественного показателя в любой момент времени по его ступенчатой аппроксимации и его истинным значением в этот момент времени.

В рассматриваемом способе оценки текущего значения качественного показателя целесообразно определить ее имеющуюся погрешность при имеющейся дискретности лабораторных анализов и найти интервал времени между соседними лабораторными анализами, при котором погрешность оценки качественного показателя в любой момент времени не превышала бы заданного значения.

Ниже рассмотрена процедура оценки искомого интервала времени, которая базируется на положении, что изменения качественного показателя X во времени при стабильном режиме технологических процессов представляют собой случайный стационарный процесс с постоянным средним значением, с дисперсией $-\sigma_x^2$ и с временем спада автокорреляционной функции $-t_0$.

По архивным данным лаборатории о прошедших анализах качественного показателя X отбирается порядка 30...50 последних анализов при $i=0,1,\dots,n$, где $n \geq 30$. Анализы проводились с каким-то определенным интервалом времени между соседними замерами $-t_0$. Полученные анализы фиксируются в таблице приведенной формы (табл. 1) и над ними выполняются указанные в ней действия.

Дисперсия погрешности ступенчатой аппроксимации показателя X за время, кратное k интервалам между замерами, рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{kte}^2 = \frac{\sum_{i=k}^n \Delta_{i(i-k)}^2}{n - (k - 1)}, \quad (1)$$

где i — номер строки таблицы, k — номер столбца таблицы.

Полученные в дискретные моменты времени значения σ_{kte}^2 , нанесенные на график и соединенные плавной линией, будут иметь вид кривых, указанных

на рис. 2.

Дисперсия погрешности замера показателя (лабораторного анализа) обозначена на рисунке через σ_d^2 .

Кривая 1 соответствует случаю, когда интервал t_0 оказался значительно меньше времени спада корреляционной функции искомого показателя $X - t_0$. При этом между соседними замерами, разделенными интервалом времени t_0 , существует значительная связь и дисперсия погрешности оценки по-

казателя при увеличении интервала времени между соседними замерами плавно растет от значения σ_d^2 (при $t=0$) до примерно постоянного (при $t \geq t_0$) значения; поскольку при $t \geq t_0$ связь между измерениями отсутствует. Следовательно, если заданная (целесообразная) среднеквадратичная погрешность текущего значения показателя лежит в пределах от σ_d до σ_1 при $t=t_0$, то оценка времени между соседними замерами (анализами) может определяться по кривой 1.

Кривая 2 имеет место в случае, когда дисперсия случайных колебаний измеряемого показателя σ_2^2 равна или меньше дисперсии погрешности анализа σ_2^2 . Следовательно, при этом способе измерений нельзя определить изменения значений искомого показателя во времени.

Кривая 3 получается, когда имеющийся интервал между соседними замерами t_0 превышает время спада корреляционной функции искомого показателя t_0 . Здесь все значения дисперсии погрешности аппроксимации не зависят от времени экстраполяции, а дисперсия погрешности измерения существенно меньше дисперсии погрешности ступенчатой аппроксимации. Для оценки необходимой частоты замеров по заданной среднеквадратичной погрешности текущей оценки искомого показателя в любой момент времени (а она лежит в диапазоне от σ_d до примерно постоянного значения σ_3) следует уменьшить интервал между соседними замерами t_0 , заново набрать порядка 30 последовательных замеров и повторить построение таблицы.

Достоверность оценок качественных показателей лабораторными анализами

Лабораторные анализы качественных показателей сырьевых компонентов, полуфабрикатов, готовой продукции имеют достаточно высокую точность, но их достоверность в ряде случаев сомнительна. Основные причины недостоверности кроются в несоответствии качества анализируемого образца искомому, истинному качеству анализируемого материала.

При определении качественных показателей входных/выходных материальных потоков технологических агрегатов особое значение имеет точная фикс-

Достижение - это стремление сделать что-то более совершенным, более эффективным, затрачивая при этом меньше усилий.

Дэвид Маклелланд

сация момента времени взятия (отбора) образца для анализа и привязка получаемого результата анализа именно к этому моменту времени. Только тогда можно правильно сопоставить результаты анализа имеющемуся в этот момент технологическому режиму работы агрегата. В действительности, в лаборатории фиксируется момент приезда лабораторного транспорта за образцом к месту его отбора из транспортной линии, но далеко не всегда этот момент совпадает с моментом реального взятия образца из проходящего потока. Зачастую необходимое взятие образца проводят сами операторы технологических агрегатов из-за значительного запаздывания лабораторного транспорта, собирающего образцы по всему производству (хотя формально это может быть незаконно); при этом, если они видят по режимным показателям, что качество может не соответствовать нормативам, они произвольно сдвигают момент времени взятия образца, естественно не фиксируя это нарушение и, тем самым, нарушая достоверность получаемого анализа. Целесообразно на транспортных линиях потоков, чьи показатели качества входят в комплекс КПЭ, установить автоматические пробоотборники, запрограммированные на требуемые моменты времени отбора образцов. Тогда будет обеспечена достоверность выдаваемых лабораторией анализов качества материальных потоков.

При определении качественных показателей материала, находящегося в хранилище (складе, силосе, резервуаре), достоверность лабораторного анализа материала, заполняющего определенный объем склада определяется тем, насколько анализируемый образец отражает качество всей массы материала. Естественно, перед отбором образца материал обычно подвергается перемешиванию, однако далеко не всегда его результатом является одинаковость качества материала во всем объеме хранилища. А это не всегда и не полностью учитывается при заключении о качественных показателях материала в хранилище.

Для подтверждения достоверности полученного результата анализа образца истинному качеству материала во всем хранилище целесообразно отбирать несколько образцов материала в разных точках хранилища и при совпадении результатов анализов этих образцов (в пределах класса точности проведения анализов) судить о достоверности полученной оценки качественных показателей хранимого материала,

а при различии результатов анализа образцов (при разнице результатов анализов отдельных образцов, превышающих погрешность проведения этих анализов) считать необходимым продолжить процедуру перемешивания материала в хранилище.

Заключение

В настоящее время на многих предприятиях технологических отраслей система контроля и учета работы производства внедрена, и входящий в нее комплекс КПЭ находится на стадии промышленной эксплуатации. Авторами статьи в последнее время на ряде предприятий проведены обследования реализованных комплексов КПЭ, которые выявили имеющиеся недоработки внедренных систем:

- состав предоставляемых пользователям КПЭ является далеко не полным, что не позволяет руководству предприятия и производственных служб обойтись без телефонных запросов к различным переделам производства, а планы и требования доработки состава КПЭ на предприятиях отсутствуют;

- достоверность предоставляемых оценок отдельных показателей никак не обеспечена, поскольку оперативный анализ исправности измерительных устройств и наличия систематической погрешности приборов, а также выявление ошибок ввода исходных данных не проводятся с необходимой частотой. Это вынуждает пользователей не полностью доверять предоставляемой информации и в ответственных ситуациях самим перепроверять полученные данные, минуя выданные оценки КПЭ;

- отсутствуют данные о погрешностях оценок отдельных КПЭ, что в ряде случаев приводит к неверным выводам о текущем состоянии производственных процессов и качестве их продукции.

В связи с отмеченными недоработками представляется важным подчеркнуть следующие особенности разработки MES, способствующие полноценной реализации комплекса КПЭ:

- при разработке MES почти всегда в первую очередь проектируют и внедряют ее информационную платформу: систему контроля и учета работы производства; но целесообразно, кроме того, отдельно выделять ее важнейшую часть: разработку комплекса КПЭ, которая требует выполнения особо жестких требований к составу комплекса, к точности и достоверности оценок входящих в него показателей;

- естественно, что на первоначальном этапе построения MES невозможно обеспечить реализацию полного состава комплекса КПЭ, требуемого руководством предприятия и его основных служб; но важно конкретно сформировать необходимый перечень показателей этого комплекса и определить мероприятия, которые позволят планомерно доводить его до требуемой кондиции.

Гребенюк Елена Алексеевна – д-р техн. наук, главный научный сотрудник,

Ицкович Эммануил Львович – д-р техн. наук, проф., зав. лабораторией ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН.

Контактный телефон (495) 334-90-21.