

Никитин В.А.

Издательство «Форум-медиа» 2006 г.

Методы измерения процессов и продукции

В СМК используются следующие методы мониторинга (измерения) и оценивания процесса или продукции:

- Инструментальный;
- Социологический;
- Экспертный;
- Статистический

Инструментальный метод используется в основном при мониторинге технологических процессов с применением контрольно-измерительных приборов и анализаторов качества продукции и, как правило, в сочетании со статистическими методами.

Социологический метод - это анкетирование потребителей продукции с использованием разработанных опросных листов.

Экспертный метод основан на организации статистической обработки мнений экспертов-специалистов. Широкое распространение сейчас получил метод «Дельфи» – один из наиболее распространенных методов экспертной оценки, обеспечивающий достижение согласованного мнения экспертов. Он построен на следующем принципе: мнения экспертов и субъективные суждения должны заменить точные законы причинности, при этом обобщаются мнения отдельных экспертов в согласованное групповое мнение.

В методе «Дельфи» реализуется:

- анонимность экспертов;
- использование результатов предыдущего тура опроса;
- статистическая характеристика группового ответа.

Анонимность заключается в том, что в ходе проведения процедуры экспертной оценки процесса, участники экспертной группы неизвестны друг другу. При этом взаимодействие членов группы при заполнении анкет полностью устраняется, но с мнением других экспертов каждый эксперт ознакомлен. В результате автор ответа может изменить свое мнение без публичного объявления об этом. Статистическая характеристика группового ответа предполагает обработку полученных результатов с помощью следующих методов измерения: ранжирование, парное сравнение, последовательное сравнение и непосредственная оценка.

Процедура экспертного опроса по методу «Дельфи» строится в несколько этапов.

ЭТАП 1. ФОРМИРОВАНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ ГРУППЫ

Группа экспертов должна включать 10-15 специалистов в данной области. Компетентность экспертов определяется путем анкетирования или анализом уровня реферирования (индекса цитирования).

ЭТАП 2. ФОРМУЛИРОВАНИЕ ВОПРОСОВ

Вопросы должны быть четкими и предполагать однозначные ответы.

ЭТАП 3. ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРТИЗЫ

Проведение опроса выполняется за несколько шагов. По итогам первого опроса выделяются крайние мнения, авторы этих мнений обосновывают свою точку зрения с последующей дискуссией. Это позволяет, с одной стороны, всем экспертам принять во внимание аргументы сторонников крайних точек зрения, с другой - дает возможность последним еще раз продумать свою точку зрения и или дополнительно обосновать ее, или отказаться от нее. После дискуссии опрос проводится снова с целью предоставления возможности экспертам принять во внимание итоги обсуждения. И так повторяется 4-5 раз до тех пор, пока точки зрения экспертов не сближаются.

ЭТАП 4. ПОДВЕДЕНИЕ ИТОГОВ ОПРОСА

За итоговое мнение экспертов принимается медиана, то есть среднее в упорядоченном ряду мнений значение.

Пример применения экспертных методов измерения приведен в Приложении 6.3 в виде стандарта предприятия *Метрики для оценивания продукции и процессов*.

Статистические методы (практика применения)

Статистические методы, которые используются в СМК, можно разделить на следующие:

- Методы дескриптивной (описательной) статистики, реализуемых, например, в виде контрольных карт;
- Регрессионные модели и реализованные на их основе виртуальные анализаторы параметров процессов и продукции;
- Методы оценивания многомерных процессов и продукции

Контрольные карты

Одним из наиболее важных инструментов статистического управления качеством являются контрольные карты (КК).

КК представляют простой графический метод оценки управляемости процесса по результатам сравнения измерений с заданными контрольными границами, при этом отклонения показателя качества могут быть вызваны случайными и неслучайными отклонениями.

КК применяются как для анализа количественных данных, когда результаты измерений показателя качества выражаются в числовой форме, так и для анализа «альтернативных» данных, когда информация об объектах представляется в виде «да»/«нет».

Простейшей контрольной картой является КК для среднего, предназначенная для управления по количественному признаку (ГОСТ Р 50.1.018-98, ГОСТ Р 50779.42-99 (ИСО 8258-91)). На этой КК наносится центральная линия, соответствующая номинальному по техническим условиям значению, и формируются однородные выборки, каждая из которых содержит некоторое количество измерений. По каждой выборке вычисляется выборочное среднее значение, которое наносится на КК. Относительно центральной линии на расстоянии на карту нанесены контрольные границы. Если очередная точка выходит за контрольную границу, регистрируется факт разладки процесса.

Подробно применение КК изложено, например, на сайте [1].

Регрессионные модели и виртуальные анализаторы

Если невозможно непосредственное измерение параметра процесса или продукта в данный момент времени, то для оценивания параметров процессов и продукции применяются регрессионные модели. Когда одна случайная переменная реагирует на изменение другой изменением своего закона распределения, речь идет о так называемой стохастической связи между ними. Частный случай такой связи - когда условное математическое ожидание одной случайной переменной является функцией значения, принимаемого другой случайной переменной. В общем случае функция регрессии описывает условное математическое ожидание от заданных значений факторов.

Статистические связи исследуются по выборкам ограниченного объема. На основании этих данных выполняют поиск подходящих аппроксимаций этой связи. Чтобы выяснить, как значение одной случайной переменной, в среднем, изменяется в зависимости от того, какие значения принимает другая случайная переменная, используют условное среднее значение, которое является выборочной оценкой условного математического ожидания, а соответствующее выражение - эмпирической функцией регрессии.

Для построения регрессионных моделей используют математические пакеты и программные среды с встроенными функциями (например, STATISTICA, MATLAB, MATHCAD и др.)

В большинстве практических случаев оперативное управление технологическими процессами осуществляется на основе использования результатов мониторинга производственной ситуации. Мониторинг, в свою очередь, реализуется путем сбора и первичной обработки данных, включающих в себя результаты применения измерительных средств и комплексов, а также лабораторные анализы промежуточной и товарной продукции. К сожалению, результаты анализов, получаемые средствами заводских лабораторий, как правило, не обладают необходимым уровнем полноты и оперативности. Практический опыт работы с результатами анализов показывает, что и их достоверность в некоторых случаях оказывается неудовлетворительной. Основная причина это состоит в несоответствии пропускной способности и технологичности лабораторных средств анализа проб реальным потребностям современного производства.

Применение анализаторов качества продукции существенно повышает своевременность контроля состояния материальных потоков, однако стоимость таких приборов весьма велика, они требуют регулярного высококвалифицированного эксплуатационного обслуживания, при этом не всегда обеспечивается достаточная полнота данных. Отсюда возникает проблема повышения полноты, оперативности и достоверности информационного обеспечения путем создания и внедрения виртуального мониторинга.

Основная идея виртуального мониторинга (реализуемого в виде виртуальных анализаторов) состоит в получении новых знаний о текущем состоянии процесса и продукции и динамике его эволюции путем глубокой математической обработки оперативных и ретроспективных данных, полученных уже существующими контрольно-измерительными средствами.

Дополнительными задачами виртуальных анализаторов являются:

- информационное дублирование отдельных измерительных средств с целью оперативного контроля их состояния;
- использование в качестве системы диагностики для раннего обнаружения возможных неисправностей (обнаружение и анализ симптомов будущих отказов).

В качестве примера на рис. 6.1 показано восстановление значений 4 параметров качества продукции установки первичной переработки нефти (керосина и авиакеросина) с помощью виртуального анализатора при наличии значительных сбоев измерительного прибора - поточного анализатора качества. Слева на рис. 6.1 показаны графики значений параметров продукции (температур начала кипения, 10 % и 70 % точек и конца кипения) с большими ошибками измерений из-за сбоев прибора. В правой части рис. 6.1 показаны восстановленные с высокой точностью данные о качестве продукции. В виртуальном анализаторе была применена модель множественной регрессии.

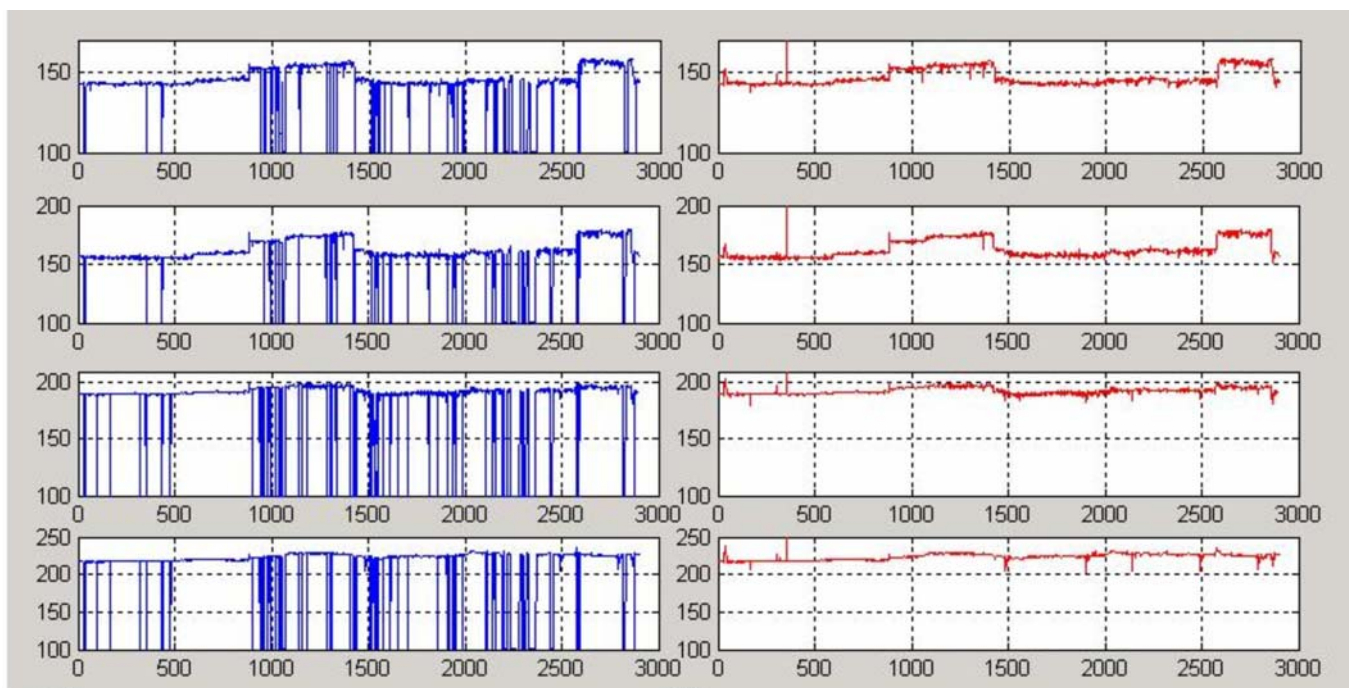


Рис. 6.1.

Методы оценивания многомерных процессов и продукции

Основная проблема при обработке многомерных данных – их представление для анализа и принятия решения. Методы оценивания многомерных процессов и продукции основаны на методах многомерной статистики:

- определение зависимостей между параметрами;
- классификация данных (выделение кластеров);
- сжатие данных для анализа и представления.

Пример 1 Расчет оценки качества работы смен технологической установки

Рассмотрим пример - задачу интегральной оценки качества работы смен установки первичной переработки нефти, которая оценивается 10 коррелированными параметрами.

В табл. 6.4. приведены параметры оценивания 20 смен (для краткости в таблице показано только 8). Для интегрального оценивания использован метод многомерной статистики – метод главных компонент.

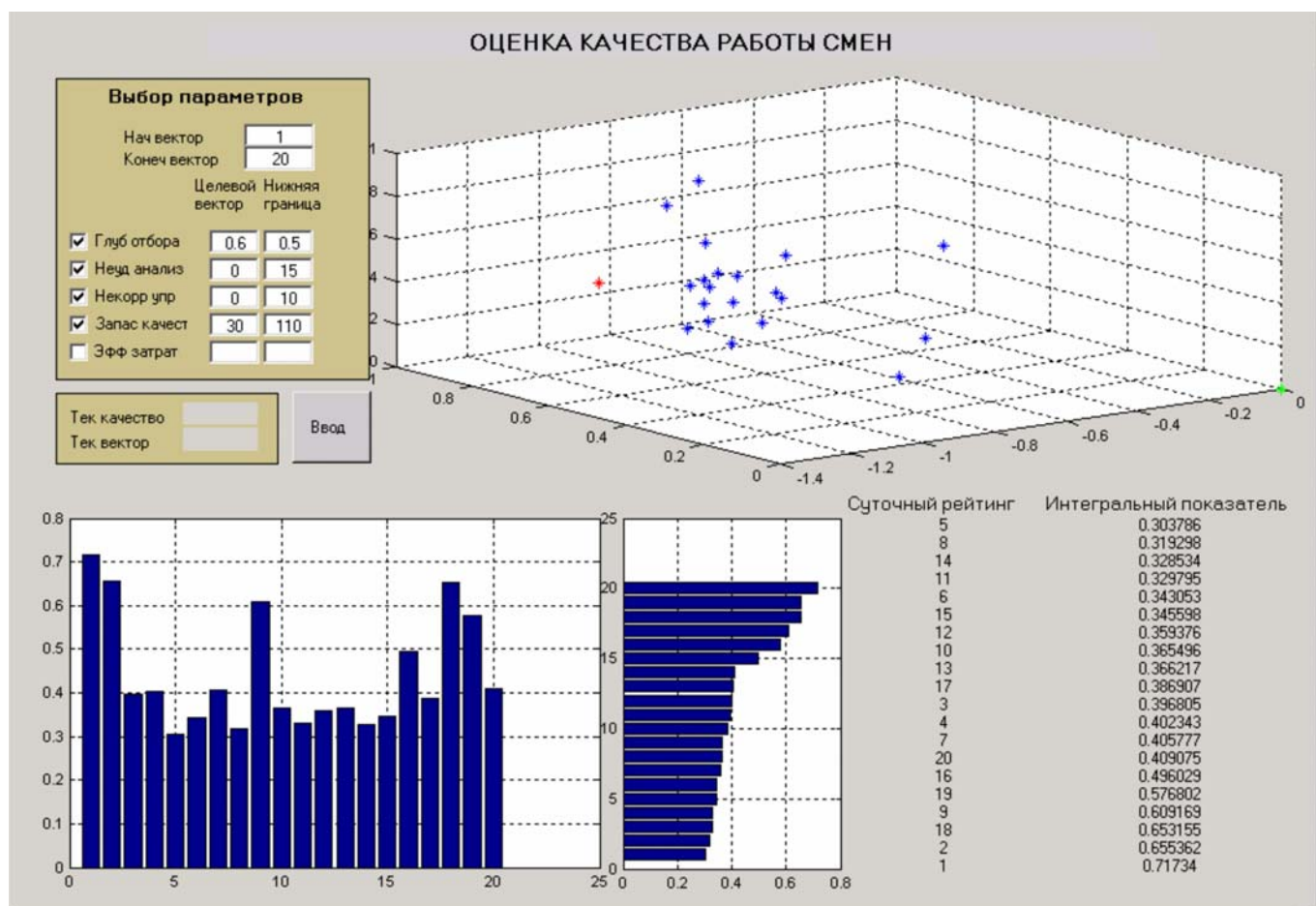


рис. 6.2.

Таблица 6.4 Пример оценивания качества работы смен установки первичной переработки нефти (к рис. 6.2)

№ смены	Глубина отбора продукции из сырья	Доля времени некорректного управления процессом (в процентах)	Коэффициент эффективности оперативного управления	Процент удовл. анализатору поточному анализатору	Процент удовл. анализ по данным лаборатории	Запас качества продукции				
						Темп. начала кипения керосина	Темп. выкипания 10% керосина	Темп. выкипания 70% керосина	Темп. конца кипения керосина	Темп. выкипания 90% дизтоплива
1.	0,5426	0,3959	41,37	74,41	100,00	0	3,8222	17,8541	22,7227	9,5261
2.	0,5502	0,2573	40,87	76,13	100,00	0,3179	7,4084	8,1706	9,8198	21,8786
3.	0,5455	0,9435	41,07	73,81	98,30	1,0950	5,1801	2,2941	15,1395	16,7312
4.	0,5398	1,4151	40,72	72,01	97,70	1,8740	9,3266	6,0095	8,1954	10,1800
5.	0,5462	1,1949	41,86	76,66	98,50	0,4282	2,3030	5,7315	27,5992	9,8154
6.	0,5454	1,5287	41,88	74,54	98,30	0,8956	9,4373	9,4279	28,7130	12,8144
7.	0,5234	2,2193	39,95	66,41	100	0,7310	5,2053	5,0003	15,1742	8,4329
8.	0,5221	2,1707	40,42	59,86	98	3,5779	9,0093	16,7711	24,2444	7,4418
9.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Действительно, если считать, что результаты работы смены зависят только от квалификации операторов смены, свойств сырья и состояния установки (включая ее загрузку), то можно приближенно учитывать только три главные компоненты. Таким образом, сжатые данные о работе смены представляются в виде точки в трехмерном пространстве (см рис 6.2). По Евклидову расстоянию точки, соответствующей интегральной оценке данной смены, от максимально возможной оценки можно судить о качестве работы смены (определить ее рейтинг).

Если считать, что качество сырья, загрузка и состояние установки неизменны за время анализа, то рейтинг определяется только квалификацией операторов данной смены.

Пример 2 Сравнение качества управления технологической установкой первичной переработки нефти оператором и системой улучшенного управления

В последнее время в промышленной автоматизации получили распространение технологии улучшенного управления технологическими процессами или APC технологии (advanced process control - APC). Системы управления, реализующие APC технологии, называются APC системами. Использование APC систем позволяет извлекать значительные прибыли, особенно на крупнотоннажных производствах, при сравнительно небольших затратах.

При внедрении и настройке APC систем возникает актуальная задача выбора объективных методов и показателей оценивания качества управления технологическим процессом. Это необходимо для сравнения ее работы с работой оператора, сравнения или оценки качества управления в различных режимах работы установки, сравнения качества управления нескольких APC систем (или различных алгоритмов управления технологическим процессом, реализуемых APC системой).

Качество управления используется как частный показатель эффективности управления технологическим процессом и зависит как от статических, так и динамических характеристик системы управления. Как правило, управление реализуется в соответствии с установленным

критерием оптимальности, целевая функция при этом представляет собой линейную или нелинейную функцию от вектора параметров выходной продукции.

Примеры целевых функций:

- себестоимость продукции;
- глубина отбора или выход продукции;
- запас по качеству продукции;
- энергетические затраты на единицу продукции;
- расход используемого реагента на единицу продукции и др.

Для оценивания качества управления можно использовать следующую группу показателей:

1. Значение целевой функции
2. Отношение количества неудовлетворительных анализов продукции к общему количеству анализов
3. Среднее смещение главных компонент векторов продукции относительно главных компонент целевого вектора продукции
4. Среднее рассеяние главных компонент векторов продукции

Часто данные измерений при мониторинге и управлении технологическими процессами имеют вид набора многомерных векторов. Для анализа, контроля и визуализации этих данных целесообразно представить их в сжатом виде с минимальной потерей информации. Проблема сжатия данных (создание новой структуры с меньшей размерностью признакового пространства) заключается в нахождении в некотором смысле оптимального отображения, выполняющего преобразование координат в исходном векторном пространстве, т.е. возникает проблема сокращения размерности признакового пространства. Такое сокращение возможно, так как в большинстве случаев признаки (элементы вектора измерений) сильно взаимосвязаны (коррелированы) и, следовательно, данные избыточны с точки зрения информации. Эта избыточность полностью определяется корреляционной матрицей исходных переменных.

Таким образом, для уменьшения избыточности данные нужно подвергнуть сжатию. Сжатие сводится к преобразованию исходного пространства матрицы измерений X в другое пространство Y , в котором можно выбрать подмножество ненаблюдаемых (латентных) переменных меньшей размерности, не вызывающее существенной потери информации.

В методе главных компонент пространство X преобразуется так, чтобы сохранялась большая часть суммарной дисперсии, которая объясняет максимальную вариативность данных. При сжатии данных целесообразно перевести данные в пространство главных компонент, обладающих меньшей размерностью (обычно используется 2 или 3 главных компоненты) и, в то же время, практически сохраняющие 85-95% содержательной информации о процессе (согласно критерию Кайзера и Критерию каменистой осыпи [сайт 2]).

Таким образом, каждый многомерный вектор измерений может быть отображен тремя числами, соответствующим координатам точки в трехмерном пространстве главных компонент. Эти числа включают в себя сжатую информацию о всех коррелированных элементах вектора измерений с потерей всего 5...15 % информации (в зависимости от вида процесса) и рассчитываются по определенному алгоритму.

Оперирование сжатыми векторами измерений позволяет не только оценить качество управления технологическим процессом, но и наглядно контролировать состояние технологической установки.

Рассмотрим показатели качества управления, которые целесообразно использовать, например, при сравнении качества управления технологической установкой оператором и АРС системой.

Общее представление о качестве управления процессом первичной переработки нефти (ректификации) для случая управления процессом оператором и АРС модулем приведено на рис. 6.3, на котором показаны вектора продукции в трех координатах главных компонент (за 50 часов работы и интервале измерений 0.5 часа).

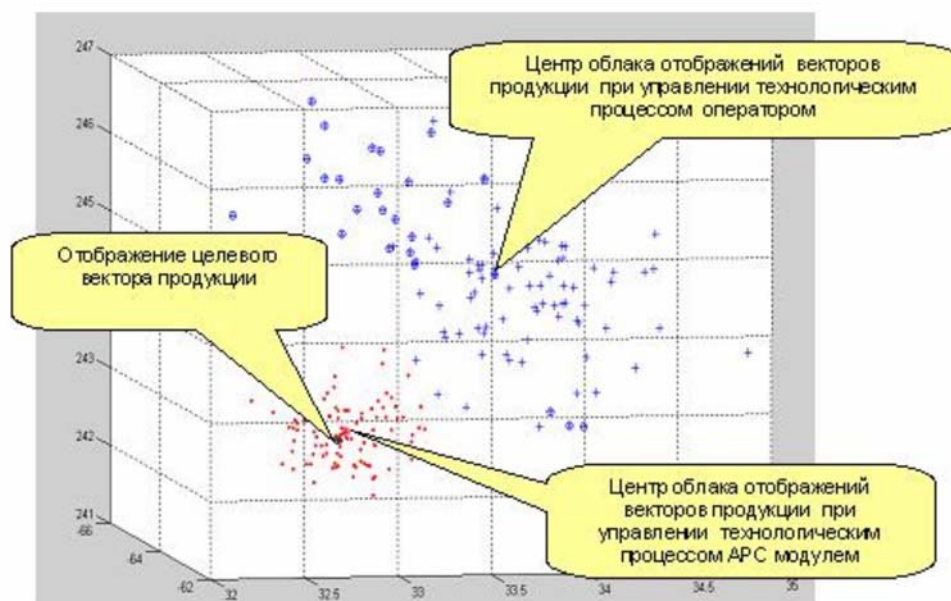


рис. 6.3.

В таблице 6.6 приведены итоговые результаты сравнения качества управления первичной переработки нефти при работе оператора и APC системы.

Таблица 6.6 Результаты сравнения качества управления первичной переработкой нефти

Показатели	Оператор	APC система
Среднее значение целевой функции (глубина отбора светлых продуктов)	0.57	0.59
% неудовлетворительных анализов	5 %	0 %
Среднее смещение главных компонент векторов продукции	5.82	0.23
Среднее рассеяние главных компонент векторов продукции	0.96	0.48

Как видно из таблицы 6.6, качество управления многомерным технологическим процессом первичной переработки нефти APC модулем существенно выше, чем качество управления оператором, в частности, на рассматриваемом временном отрезке глубина отбора светлых нефтепродуктов больше на 3,5 %, а также качество и стабильность параметров продукции существенно лучше.

Пример 3 Задача сравнения качества управления процессом компаундирования дизельных топлив

Рассмотрим задачу оценивания качества управления процессом компаундирования дизельных топлив в потоке.

На вход установки компаундирования поступает базовый поток, а затем в линиях смешения происходит добавление в него компонент дизельного топлива (обычно используется 5-6 компонент).

Особенности процесса смешения в потоке состоят в требовании полного использования базовых потоков в сумме по работающим линиям смешения, при этом ограничения типа неравенств отражают имеющиеся запасы компонентов и пропускную способность

используемых трубопроводов. Задача состоит, во-первых, в оптимальном распределении компонентов смешения с заданными свойствами по линиям смешения и, во-вторых, оптимальной коррекции расходов компонентов для получения продукта с параметрами в пределах установленного допуска. Критерием оптимизации чаще всего является минимум себестоимости продукции или минимум запаса по массовой доле серы в продукции.

Таким образом, управляющие параметры - это расходы компонентов дизельного топлива. Вектор продукции показан в таблице 6.7.

Параметры		Целевой вектор продукта	Значения главных компонент целевого вектора
Фракционный состав (град)	T _{НК}	167	0.2000
	T ₁₀	191	
	T ₅₀	256	
	T ₉₀	337	
	T ₉₆	359	
Температура вспышки (град)	Температура вспышки (град)	50	126.8406
	Температура застывания (град)	-15	148.6071
	Температура помутнения (град)	-8	
	Температура фильтрации (град)	-8	
	Сера (%)	0.2	
	Вязкость (сСт)	4.5	

В таблице 6.8 приведены результаты сравнения качества управления компаундированием дизельных топлив в потоке при работе оператора и APC модуля.

Показатели	Оператор	APC модуль
Среднее значение целевой функции (запас качества по массовой доле серы в продукции)	22.4231 %	0 %
% неудовлетворительных анализов	5.7143 %	0 %
Среднее смещение главных компонент векторов продукции	2.686	0.5961
Среднее рассеяние главных компонент векторов продукции	4.4299	1.4032

Анализ результатов позволяет сделать вывод, что при использовании АРС модуля для управления процессом смешения в потоке возможно существенное уменьшение себестоимости дизельного топлива (до 10 %) за счет допустимого снижения запаса по качеству (при этом увеличивается доля в конечном продукте более дешевой компоненты с высоким содержанием серы). Кроме того, существенно снижаются затраты на дополнительную перекачку и переработку некондиционной продукции.

Оценивание качества управления многомерными технологическими процессами с использованием статистических показателей в виде значений главных компонент векторов продукции дает более полную информацию о свойствах субъекта управления, позволяя проводить объективное и корректное сравнение качества управления технологическими установками.

Перечень рисунков и подрисуночные подписи

Рис. 6. 1 Пример восстановления данных виртуальным анализатором (слева – искаженные данные из-за сбоев поточного анализатора качества – температур выкипания керосина и авиакеросина установки первичной переработки нефти, справа – восстановленные данные)

Рис. 6. 2 Пример расчета интегральной оценки качества работы смен технологической установки

Рис. 6.3 Сравнение качества управления установкой первичной переработки нефти оператором и АРС системой