ПАО «КАЗАНЬОРГСИНТЕЗ»

СИСТЕМА УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

Методика расчета экономического эффекта

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| ООО «Т-Софт» | Сафин З.И. |
|  |  |

2023

**Оглавление**

[1 ВВедение 3](#_Toc113469004)

[2 Стратегии СУУТП по управлению и оптимизации 4](#_Toc113469005)

[3 Перечень принятых сокращений и определений 34](#_Toc113469006)

# ВВедение

Настоящий документ разработан в рамках работ на разработку и внедрение системы усовершенствованного управления технологическим процессом СУУТП.

В настоящем документе представлены методики:

* оценка ожидаемой технико-экономической эффективности («ожидаемого эффекта») от внедрения СУУТП на начальном этапе проекта (Обследование установки и разработка ТЗ);
* подтверждения фактической технико-экономической эффективности («достигнутого эффекта») на завершающем этапе проекта (ввод СУУТП в эксплуатацию).

Результаты применения первой из них отражены в Отчете по обследованию, а подтверждение фактической технико-экономической эффективности входит в состав работ по Этапу 7 проекта.

Обе методики предусматривают расчеты эффективности только в натуральном выражении (выходы продуктов, сокращение потребления пара и т.п.).

Методика оценивания достигнутого эффекта будет применена при анализе результатов опытно-промышленной эксплуатации; результаты ее применения при оценивании достигнутого эффекта будут отражены в «Отчете по опытно-промышленной эксплуатации СУУТП».

# Методы оценки эффекта

## Определение ключевых ограничений процесса для СУУТП

Ключевые ограничения процесса – это параметры ТП, стабилизация (снижение изменчивости) которых позволяет получить эффект. Снижение изменчивости ограничений позволяет сместить ТП в более оптимальную рабочую точку. Обычно под таким «смещением» понимают изменение структуры материального баланса установки в экономически более выгодную сторону.

Выявление ключевых ограничений ТП и их взаимосвязей с показателями эффективности проекта проводится в ходе анализа ограничений ТП при формировании стратегий управления СУУТП на этапах 1 и 2 проекта.

## Количественное оценивание взаимосвязи смещения ключевых переменных ТП и балансовых параметров ТП

Смещение среднего значения ключевой переменной ТП в ту или иную сторону обусловлено перемещением рабочей точки ТП в более оптимальную область работы и, соответственно, корректировкой балансов ТП (теплового и/или материального) в более выгодную с позиций производственной экономики сторону. Взаимосвязь между рассматриваемым ключевым переменными ТП и интересующим балансовым показателем называется коэффициентом усиления процесса (КУП). Для расчета ожидаемого эффекта КУП могут быть оценены следующими способами:

* на основе статистического анализа данных, включая определение корреляций между соответствующими переменными ТП (Приложение 1);
* в результате применения аналитического подхода, включая использование эмпирических зависимостей, диаграмм и методов, определяющих искомые взаимосвязи;
* по итогам обработки результатов тестирований ТП в рамках проекта создания и внедрения СУУТП.

В итоге проведения всех расчетов, получаем для ключевых «качественных» параметров оценки снижения изменчивости (в терминах СКО) с использованием СУУТП, а для ключевых «количественных» – новые балансовые соотношения продуктов или тепловых потоков.

## Подготовка и проведение опытной эксплуатации СУУТП

В ходе опытной эксплуатации СУУТП нарабатываются статистические данные для отчетного периода работы установки, которые будут использоваться для оценивания достигнутой эффективности.

К началу подготовки СУУТП к опытной эксплуатации целесообразно провести статистический анализ данных для нового базового периода работы установки. Такая необходимость возникает в случае, когда использование данных базового периода, выбранного на Этапе 1, или последующих периодов работы установки до момента включения СУУТП в работу, окажется полностью или частично неадекватным. Причиной такой неадекватности может быть, например, внесение изменений в состав оборудования и/или КИП и А установки в период реализации проекта СУУТП, не связанных с проектом, которые привели к смещению «базовой линии» ТП.

Также, перед опытной эксплуатацией уточняется набор показателей эффективности и ключевых параметров (ограничений) для СУУТП.

В ходе опытной эксплуатации СУУТП необходимо использовать в системе набор оптимизационных целевых функций, отвечающих выбранным показателям эффективности.

Требования к отчетному периоду, который нарабатывается в ходе опытной эксплуатации СУУТП те же, что и к базовому.

В ходе обработки данных отчетного периода необходимо удалять данные, соответствующие следующим ситуациям:

* нехарактерные периоды работы объекта (низкая/высокая производительность, вывод из строя технологического оборудования, механические проблемы с клапанами и т.п.);
* периоды активной настройки/наладки/испытаний СУУТП;
* периоды времени, когда контроллеры СУУТП были необоснованно ограничены по основным управляющим/оптимизационным MV.

## Выбор базового и отчетного периода работы установки

Сравнение режимов работы Установки и оценку эффективности ее работы необходимо производить при равных условиях, таких как нагрузка на Установку, температура окружающей среды, качество сырья и т.п.

Для каждого целевого продукта на основании статистических данных о работе установки выбирается лимитирующий (определяющий) показатель качества, статические показатели которого будут являться исходными данными для расчёта эффективности работы СУУТП. Статические характеристики лимитирующих показателей качества являются ключевыми показателями эффективности работы СУУТП. На данных показателях строится анализ эффективности работы ТП в базовом и отчётном периодах.

«Базовый» период работы установки – это период времени ее работы без использования СУУТП, совокупность данных о ТП за который (переменные ТП, данные лабораторно-аналитического контроля, показания поточных анализаторов и пр.) может быть использована в качестве сравнительной базы для оценки эффективности внедрения СУУТП.

Требования к «базовому» периоду работы установки:

значимость – базовый период должен составлять не менее двух недель общего времени (лучше – не меньше месяца) в целях получения статистически значимых данных по показателям качества получаемых продуктов;

представительность – базовый период должен быть представительным и не содержать данных о «нехарактерных» технологических режимах: например, режимах низкой производительности установки, нехарактерного качества сырья, нерегламентированной технологической схемы переработки и/или номенклатуры получаемых продуктов.

«Отчётный» период работы установки – это период времени ее работы с использованием СУУТП, совокупность данных о ТП за который (переменные ТП, данные лабораторно-аналитического контроля, показания поточных анализаторов и пр.) может быть использована в качестве сравнительной базы для оценки эффективности внедрения СУУТП. Отчётный период должен характеризоваться устойчивой работой СУУТП и всех интегрированных с ней систем.

К «отчётному» периоду работы установки предъявляются такие же требования, как и к «базовому».

Базовый и отчётный периоды могут быть составлены из нескольких временных интервалов. Для базового и отчетного периода подходят данные с минимально возможным количеством смен производственных заданий по производительности и качеству продуктов, так как это осложняет дальнейшую статистическую обработку данных.

При расчете эффективности работы СУУТП рассматриваются и учитываются характеристики режима её работы, состояние манипулируемых и контролируемых переменных, заданные ограничения и т.п. В ходе анализа работы СУУТП и её эффективности учитывается состояние базового уровня управления и устранение выявленных проблем указанных в отчете по обследованию.

## Анализ возможности прямого сравнения балансовых параметров ТП

Оценивание эффекта от СУУТП напрямую, по балансовым параметрам базового и отчетного периодов, зачастую наталкивается на объективные сложности, связанные с тем, что балансовые характеристики ТП (структура ее материального и теплового балансов) существенно зависят от качественных характеристик сырья, текущего состояния технологического оборудования и средств автоматизации, а также состава производственных заданий по качеству и производительности. Чтобы доказать эффект от СУУТП в виде фактических, статистически значимых смещений балансовых параметров ТП, необходимо в ходе базового и отчетного периодов поддерживать одинаковыми и постоянными указанные параметры. С учетом того, что суммарно базовый и отчетный периоды охватывают не меньше 1 месяца работы установки, реализация такого сценария проверки (тестового пробега) требует специальных согласований и подготовки.

Рассматриваемая методика предусматривает два подхода к оцениванию эффективности:

* прямое сравнение балансовых показателей за базовый и отчетный периоды,
* косвенное сравнение балансовых показателей, рассчитанных на основе оценок снижения изменчивости ключевых ограничений.

При расчетах эффективности возможно проводить расчеты по косвенным критериям, а при наличии соответствующей возможности – по прямым балансовым параметрам.

**Методы оценки снижения изменчивости ключевых переменных (ограничений) ТП**

Все дальнейшие расчеты по оценке снижения изменчивости проводятся на данных «базового» периода.



*Рис. 1-1. Снижение изменчивости показателя качества с последующим смещением среднего*

Лежащее в основе данной методологии предположение состоит в том, что применение усовершенствованного управления приведет к уменьшению величины среднеквадратичного отклонения (СКО) ключевой переменной, характеризующей его изменчивость. В результате снижения изменчивости для «количественных» показателей возможно смещение среднего значения, как показано на рис. 1-1.

Важно, чтобы выборка по ключевой переменной ТП за базовый период была как можно ближе к нормальному распределению данных, что проверяется, например, с помощью гистограмм распределения. Статистические выбросы (удаление от «среднего» на более, чем утроенное СКО) удаляются из выборки. В случае наличия для ключевого ограничения нескольких «нормальных» распределений в выборке (это может быть вызвано, например, сменой производственных заданий по соответствующей ключевой переменной – показателю качества), допускается расчет средневзвешенных статистических характеристик.

Среднее значение переменной определяется как:

 (1-1)

где:

 – среднее значение переменой PV («PV» – аббревиатура Process Variable, что означает переменная ТП),

PVi – i-тый замер переменной PV,

n – число измерений.

Среднеквадратичное отклонение (СКО) определяется по следующей формуле:

 (1-2)

Уменьшение СКО после применения СУУТП оценивается как:

sapc = r × sbc (1-3)

где:

sapc – СКО в случае применения СУУТП; индекс «apс» означает «вариант с APC», т.е. управление установкой после внедрения СУУТП;

sbc – СКО в случае применения только базового регулирования (индекс «bс» означает «базовый вариант» (base case), т.е. управление установкой до внедрения СУУТП);

r – доля снижения СКО. Типичным является снижение на 10÷40%.

## Оценивание смещения среднего значения ключевой переменной ТП

Существуют три подхода, которые отличаются по типу ограничения для рассматриваемой технологической переменной:

переменная с жестким ограничением; при этом количество нарушений ограничения является приемлемым («Правило одинаковой доли выбросов»);

переменная без жестких ограничений или вообще без ограничений («Правило одинакового предела»);

переменная с жестким ограничением; при этом количество нарушений ограничения является неприемлемым («Правило окончательного процентного соотношения»).

На рис. 1-2 изображено нормальное распределение технологической переменной до и после применения СУУТП. Рис. 1-2 будет использоваться при рассмотрении указанных подходов.



*Рис. 1-2. Оценивание смещения среднего значения в результате применения СУУТП*

***Правило 1 (Правило одинаковой доли выбросов)***

На переменную наложены жесткие ограничения. Считается, что количество нарушений спецификации приемлемо для работы объекта. В этом случае при использовании СУУТП ожидается более жесткое управление с тем же самым числом отклонений от спецификации. Площадь под кривой распределения в случае применения СУУТП за пределами спецификации будет равна соответствующей площади под кривой распределения в случае без СУУТП (см. рис. 1-2).

Изменение  после внедрения СУУТП оценивается следующим образом:

Шаг 1: Вычисление  по формуле (1-1) на основе базовых данных

Шаг 2: Вычисление sbc по формуле (1-2) на основе базовых данных

Шаг 3: Оценка sapc в случае применения СУУТП по формуле (1-3)

Шаг 4: Вычисление  по одной из нижеследующих формул:

** (1-4а)

или

** (1-4б)

***Правило 2 (Правило одинакового предела)***

На переменную наложены «мягкие» ограничения или они отсутствует вовсе. Количество нарушений спецификации предполагается приемлемым. В данном случае устанавливается новая спецификация, на основе которой производится оценивание. Площади под обеими кривыми за пределами спецификации будут равны.

Изменение  после внедрения СУУТП оценивается следующим образом:

Шаг 1: Выбор количества нарушений, приемлемого для работы, из таблицы функции нормального распределения, представленной ниже.

Шаг 2: Вычисление  на основе базовых данных, используя формулу (1-1)

Шаг 3: Вычисление sbc на основе базовых данных, используя формулу (1-2)

Шаг 4: Оценка sapc в случае применения СУУТП, используя формулу (1-3)

Шаг 5: Выбор соответствующего z для выбранного процента нарушений из данных ниже:

|  |  |
| --- | --- |
| z | Процент нарушений |
| 1,28 | 10,0 |
| 1,645 | 5,0 |
| 1,96 | 2,5 |
| 2,33 | 1,0 |

Шаг 6: Вычисление  по одной из следующих формул:

, (1-5а)

или

. (1-5б)

***Правило 3 (Правило окончательного процентного соотношения)***

На переменную наложены жесткие ограничения и при этом количество нарушений спецификации неприемлемо. В этом случае ожидается более жесткое управление с меньшим числом отклонений от спецификации. Площадь под кривой распределения в случае применения СУУТП за пределами спецификации будет меньше соответствующей площади под кривой распределения при работе без СУУТП.

Изменение  после внедрения СУУТП оценивается следующим образом:

Шаг 1: Выбор количества нарушений приемлемых для работы завода и достижимых при помощи СУУТП

Шаг 2: Вычисление  по формуле (1-1) на основе базовых данных

Шаг 3: Вычисление sbc по формуле (1-2) на основе базовых данных

Шаг 4: Оценивание sapc в случае применения СУУТП по формуле (1-3)

Шаг 5: Выбор соответствующего z для выбранного процента нарушений

Шаг 6: Вычисление , использую одну из формул, представленных ниже.

, (1-6а)

. (1-6б)

# Оценивание ожидаемого эффекта

## Оценка эффекта на установке ….

# Вывод

# Перечень принятых сокращений и определений

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| АСУТП | – | Автоматизированная система управления технологическим процессом |
| КИПиА | – | Контрольно-измерительные приборы и автоматика |
| ПИД | – | Пропорционально-Интегрально-Дифференциальный |
| РСУ | – | Распределенная система управления |
| Система | – | Система усовершенствованного управления технологическими процессами Объекта (СУУТП) |
| СУУТП | – | Система усовершенствованного управления технологическим процессом |
| CV (СУУТП) | – | Контролируемый параметр СУУТП (Controlled variable) |
| MV (СУУТП) | – | Манипулируемый параметр СУУТП (Manipulated variable) |
| DV (СУУТП) | – | Возмущающий параметр СУУТП (Disturbance variable) |
| MV (ПИД-регулятор) | – | Управляющее выходное воздействие ПИД-регулятора (Manipulated output value) |
| PV (ПИД-регулятор) | – | Переменная процесса ПИД-регулятора (Process variable) |
| SP (ПИД-регулятор) | – | Задание ПИД-регулятора (Setpoint) |

**СОСТАВИЛИ**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ФИО | Должность | Подпись | Дата |
| Гусев С. Н. | Ведущий инженер СУУТП |  | 09.2022 |
| Муртазин Е.В. | Инженер СУУТП |  | 09.2022 |

**СОГЛАСОВАНО**

Со стороны ПАО «КАЗАНЬОРГСИНТЕЗ»:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ФИО | Должность | Подпись | Дата |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

Со стороны ПАО «Сибур Холдинг»:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ФИО | Должность | Подпись | Дата |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |