

УДК 639.371.1

К. В. Иванов-Польский, М. З. Певзнер, Д. Г. Сясегов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕНТРА НАСТРОЙКИ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Предложен метод оптимизации настройки производственного процесса, обеспечивающий экономически наиболее выгодное соотношение объёма годной продукции, а также объёмов исправимого и неисправимого браков. Его использование необходимо в случаях, когда точность обработки на имеющемся оборудовании не удовлетворяет конструктивным требованиям. Метод реализован в рамках программы MS EXCEL и состоит из двух элементов, связанных итерационным процессом:

- статистического расчёта процентных долей каждого вида брака и годной продукции;
- решения стандартной задачи линейного программирования (надстройка программы «Поиск решения») – определения необходимого смещения относительно середины поля допуска центра настройки (центра рассеяния обрабатываемого размера). Расчёт заканчивается, когда значение экономического эффекта в целевой ячейке достигает максимума.

Метод успешно опробован на одном из предприятий г. Кирова. Использование метода наиболее целесообразно при обработке точных деталей в станках с программным управлением, снабжённых необходимым для оперативного расчёта программным продуктом. Эффективность применения метода повышается с увеличением объёма производимой продукции.

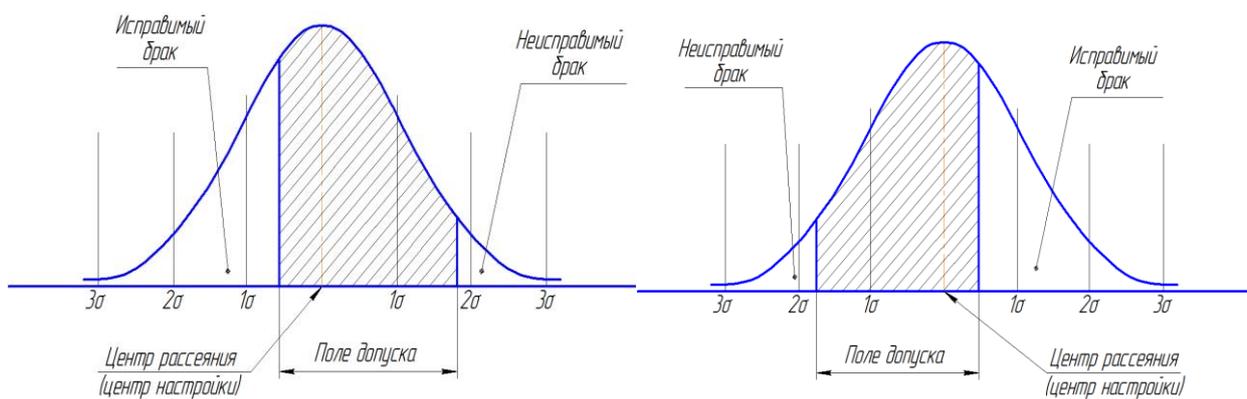
Предполагается развитие данного метода в направлении повышения его универсальности – возможности использования при обработке на произвольном оборудовании в разных производственных процессах для достижения различных регламентируемых характеристик качества. Для этой цели необходимо:

- решение рассмотренной задачи при всевозможных сочетаниях соотношений ширины допуска и рассеяния, а также удельных расходов и экономического эффекта при получении единицы брака и годной продукции;

– графическое оформление полученных результатов, позволяющее оперативно выбирать оптимальную величину смещения центра настройки в конкретных производственных условиях, не прибегая каждый раз к сложным итерационным расчётам.

Ключевые слова: статистическое управление процессами, центр настройки размера, технологический допуск, станки с ЧПУ, линейное программирование.

Весьма часто конструктивные требования превышают производственные возможности, то есть, применительно к металлообработке, технологическое оборудование не может обеспечить точности размера детали, заложенной в конструкторской документации. Это является объективной причиной получения как исправимого, так и неисправимого брака [1]. Производитель стремится уменьшить относительную долю неисправимого брака, связанного с максимальными экономическими потерями. Для этого необходимо смещать центр настройки (центр полагаемого нормальным рассеяния обрабатываемого размера) относительно середины поля допуска в сторону границы допуска, за которой расположена область исправимого брака, как показано на рис. 1.



а б

Рис. 1. Иллюстрация перераспределения долей исправимого и неисправимого брака путём смещения (С) центра настройки при механической обработке отверстия (а) и вала (б) с целью снижения производственных потерь

Но возникает вопрос: какая величина такого смещения является оптимальной? Она не может быть слишком большой, ведь при смещении положения центра настройки относительно середины поля допуска не только меняются доли исправимого и неисправимого брака (см. рис. 1), но и уменьшается «выход годного». Следует констатировать, что задача такого рода до настоящего времени не нашла своего решения, будучи актуальной для всех процессов, не оборудованных обратной связью, то есть там, где невозможно производить настройку в ходе процесса обработки, а контроль качества осуществляется «по факту». При этом можно выделить две смежные задачи:

– решение данной задачи для условий обработки конкретной детали на конкретном оборудовании «здесь и сейчас», исходя из предположения, что имеется достаточно оперативное вычислительное оборудование;

– решение задачи для всего комплекса возможных сочетаний технико-экономических факторов, составление неких таблиц или номограмм, позволяющих без каких-либо вычислений, задаваясь конкретными условиями, определять оптимальную величину смещения центра настройки.

Предметом настоящей работы было аналитическое решение первой, более скромной задачи для последующей механической обработки на станке с программным управлением. При этом мы полагаем, что распространение используемого здесь метода на всевозможные начальные условия соотношений ширины допуска и рассеяния, а также удельных расходов и экономического эффекта при получении единицы брака и годной продукции позволит в будущем решить и вторую задачу.

Расчеты производились с использованием инструментов анализа и статистических функций офисной программы MS EXCEL.

Очевидно, оптимальное соотношение долей каждого вида брака и годной продукции, определяемое величиной смещения центра настройки, зависит от соотношений затрат, обусловленных каждым видом брака и удельной экономии от реализации годной продукции. В самом деле, определение оптимальной

величины смещения (c) мы осуществляли путём решения вариационной задачи установления экстремума (максимума) линейной функции экономии (\mathcal{E}), складывающейся из произведений нескольких компонентов:

$$\mathcal{E} = \text{РГП} * \text{ГП}(c) - \text{ПИ} * \text{ИБ}(c) - \text{ПН} * \text{НБ}(c), \quad (1)$$

где представлены постоянные для конкретной детали величины:

РГП – экономия от реализации единицы годной продукции,

ПИ – потери от единицы исправимого брака,

ПН – потери от единицы неисправимого брака,

и переменные, зависящие от соотношения ширины допуска на конкретный размер и величины стандартного отклонения на данный размер, получаемой на имеющемся оборудовании, а также от величины смещения (c): ГП(c), ИБ(c) и НБ(c) – вероятности получения годной продукции, исправимого и неисправимого брака.

Определение ГП(c), ИБ(c) и НБ(c) (промежуточный этап расчёта) производили с использованием статистической функции НОРМРАСП, аргументы которой представлены на рис. 2 в соответствии со схемой, рис. 3.

The image shows a software window titled "НОРМРАСП". It contains four input fields, each with a small icon to its right. The fields are labeled as follows: "x", "Среднее", "Стандартное_откл", and "Интегральная".

Рис. 2. Аргументы функции НОРМРАСП

Вероятность получения годных деталей определяется разностью интегральных функций, выражаемых заштрихованными площадями, см. рис. 3, которые рассчитаны последовательно для верхней (x_2) и нижней (x_1) границ допуска. Здесь же показаны способы расчёта исправимого и неисправимого брака.

Технические науки

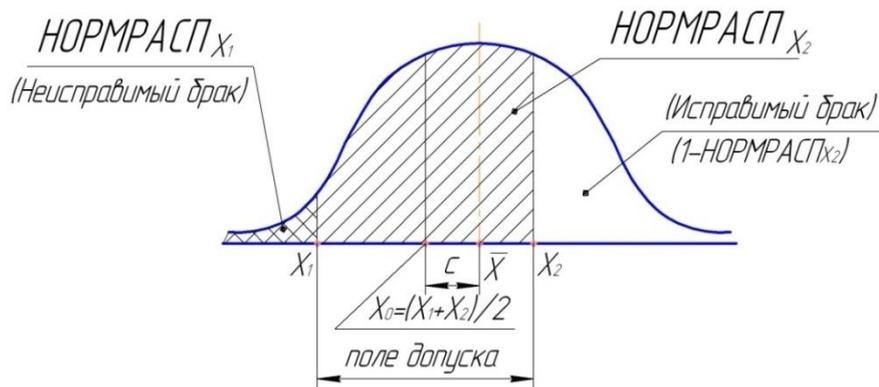


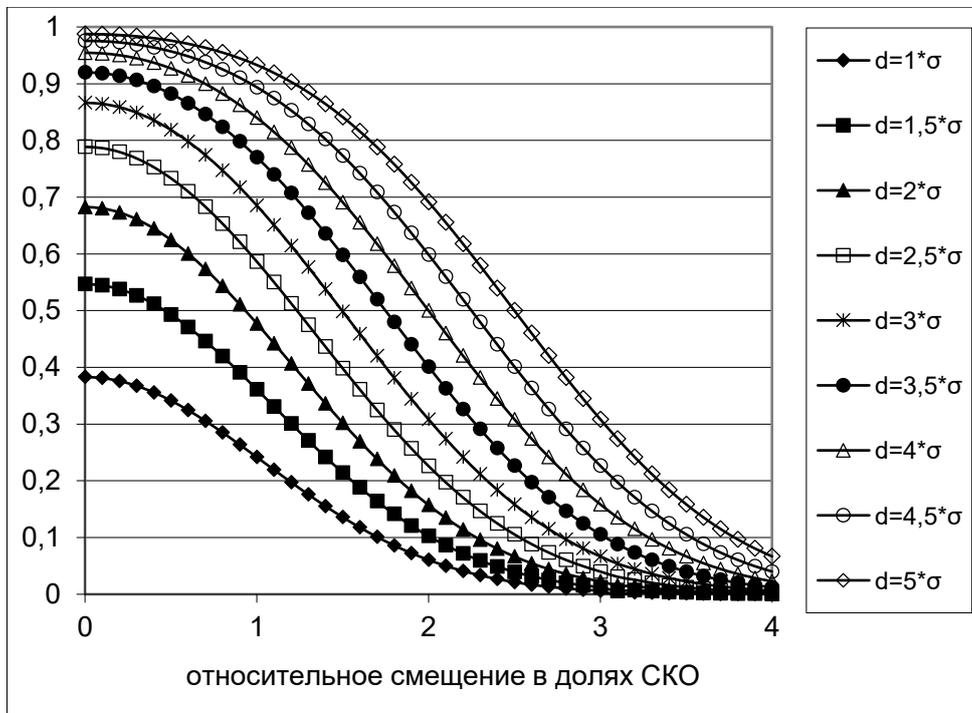
Рис. 3. Схема расчёта вероятностной доли годной продукции, исправимого и неисправимого брака с использованием функции НОРМРАСП

Задача усложнялась необходимостью подстановки границ допуска (аргумента x , см. рис. 3) не в относительных, а в абсолютных физических единицах. Её решение состояло из следующих этапов:

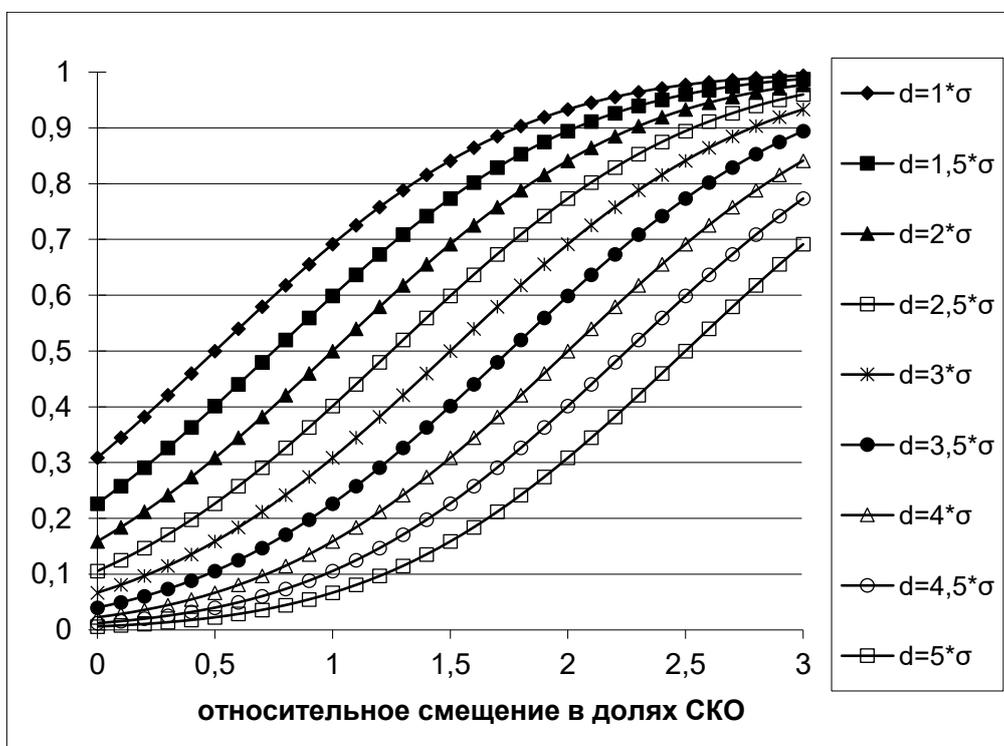
- расчёт среднего значения и стандартного отклонения в значениях абсолютных физических единиц независимо от природы этих величин;
- расчёт границ допуска в значениях абсолютных физических единиц для всего рассматриваемого массива ширины допуска d и величины смещения центра настройки относительно середины допуска c в значениях, приведённых к СКО;
- расчёт функции НОРМРАСП для верхней и нижней границ допуска;
- расчёт доли годной продукции, а также исправимого и неисправимого брака в соответствии со схемой, см. рис. 3.

Возможности программы MS EXCEL [2] позволили достаточно легко распространить полученные результаты расчёта на весь рассматриваемый массив d от $d = 1,0 \cdot \sigma$ до $d = 6,0 \cdot \sigma$ и c от $c = 0$ до $c = 2,4 \cdot \sigma$ с градацией $0,1 \cdot \sigma$. Таким образом, для каждой точки этого массива в зависимости от величины смещения (c) были получены ожидаемые значения доли годной продукции – ГП(c), исправимого – ИБ(c) и неисправимого – НБ(c) брака. Получение этих значений для отдельной точки – постоянно решаемая задача технологии

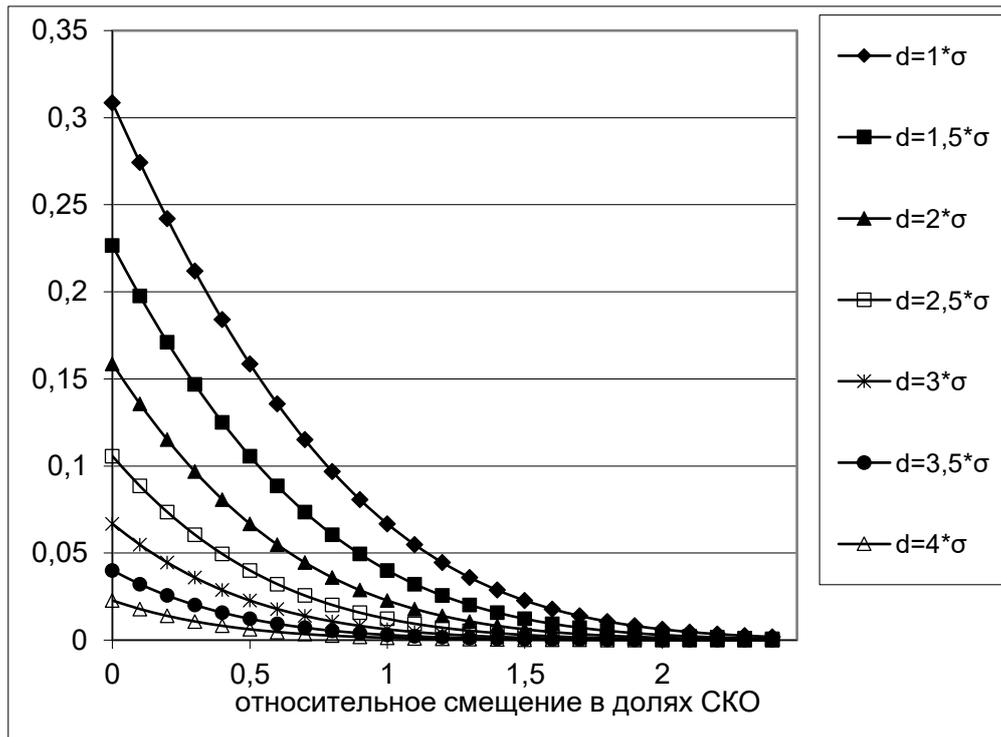
машиностроения [3, 4, 5], но её решение для всего массива позволило получить достаточно интересные закономерности, например, представленные на рис. 4.



а



б



в

Рис. 4. Доли годной продукции ГП(с) (а), исправимого брака ИБ(с) (б) и неисправимого брака НБ(с) (в) в зависимости от смещения центра настройки относительно середины допуска в долях СКО для различной относительной ширины допуска d

В нашем случае задача оптимизации положения центра настройки в экономическом плане сводится к выбору такой величины смещения центра настройки, при которой величина \mathcal{E} (1) принимает максимальное значение. С учётом того, что уравнение (1) линейно, для такой оптимизации мы использовали надстройку MS EXCEL «Поиск решения» [6].

Определение оптимальной величины смещения можно представить как оптимизационный итерационный процесс по определению максимума целевой функции экономии \mathcal{E} методом линейного программирования [7]. Надстройка работает с двумя группами ячеек: с ячейками переменных результатов решения, которые используются при расчете формул в целевых ячейках, и с ячейками ограничения. Она изменяет значения в ячейках переменных результатов

решения согласно пределам, заложенным в ячейках ограничения, и выводит результат в целевой ячейке.

Внесем данные на лист MS Excel (см. рис. 5):

– в ячейки B1 и B2 запишем, соответственно, среднее значение и стандартное отклонение результатов обработки и контроля;

– в ячейки B3 и B4 – соответственно, верхнюю и нижнюю границы допуска;

– в ячейки B5 и B6 – функцию НОРМРАСП для верхней и нижней границ допуска, при этом для нижней границы допуска функция будет соответствовать доле неисправимого брака НБ(с);

– в ячейки B7 и B8 – вычисленные по формулам доли годной продукции ГП(с) и исправимого брака ИБ(с);

– в ячейки B9, B10 и B11 – доход от реализации единицы годной продукции (РГП), потери от единицы исправимого брака (ПИ) и потери от единицы неисправимого брака (ПН), соответственно;

– в ячейку B13 – оптимальную величину среднего смещения в значениях СКО; за начальную величину примем смещение, равное нулю;

– в ячейку B14 записывается формула вычисления (1) целевой функции экономии (Э).

	А	В
1	Оценка среднего значения	351,9574702
2	Оценка стандартного отклонения	11,44281313
3	Верхняя граница допуска	357,6788768
4	Нижняя граница допуска	346,2360636
5	НОРМРАСП для верхней границы допуска	0,691462461
6	НОРМРАСП для нижн. границы доп. (НБ(с)) (%)	0,308537539
7	Годная продукция (ГП(с)) (%)	0,382924923
8	Исправимый брак (ИБ(с)) (%)	0,308537539
9	Доход от реализации единицы годной продукции (РГП)	25
10	Потери от единицы исправимого брака (ПИ)	1
11	Потери от единицы неисправимого брака (ПН)	5
12		
13	Оптимальная величина среднего смещения в значениях СКО	0
14	Целевая функция экономии (Э)	7,721897831

Рис. 5. Фрагмент листа MS EXCEL, заполненный начальными условиями для случая, когда ширина допуска равна стандартному отклонению

Переходим непосредственно к использованию надстройки «Поиск решения». Через меню «Данные» и «Поиск решения» входим в таблицу «Параметры поиска решения» (рис. 6).

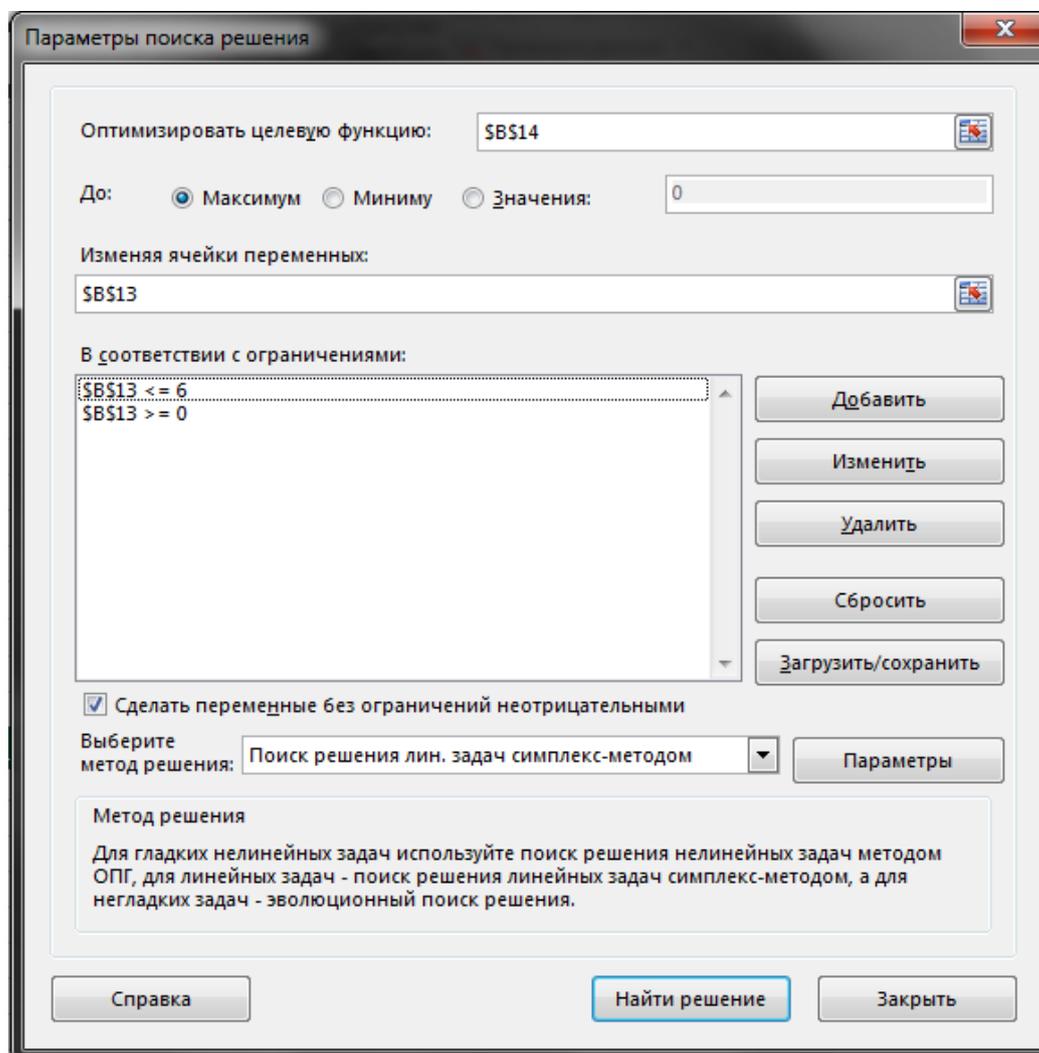


Рис. 6. Окно «Параметры поиска решения» MS EXCEL

В неё вводим указание на ячейку целевой функции \$B\$14. Указываем, что ищем максимум целевой функции, и указываем ячейку переменной \$B\$13. Через кнопку «Добавить» вводим ограничения, в данном случае для ячейки \$B\$13. Нажав кнопку «Найти решение», находим искомую оптимальную величину среднего смещения в значениях СКО; MS EXCEL пересчитывает значения параметров, входящих в целевую функцию (рис. 7).

Технические науки

	А	В
1	Оценка среднего значения	351,9574702
2	Оценка стандартного отклонения	11,44281313
3	Верхняя граница допуска	356,0414005
4	Нижняя граница допуска	344,5985874
5	НОРМРАСП для верхней границы допуска	0,639416349
6	НОРМРАСП для нижн. границы доп. (НБ(с)) (%)	0,260079333
7	Годная продукция (ГП(с)) (%)	0,379337016
8	Исправимый брак (ИБ(с)) (%)	0,360583651
9	Доход от реализации единицы годной продукции (РГП)	25
10	Потери от единицы исправимого брака (ПИ)	1
11	Потери от единицы неисправимого брака (ПН)	5
12		
13	Оптимальная величина среднего смещения в значениях СКО	0,143100844
14	Целевая функция экономии (Э)	7,822445077

Рис. 7. Фрагмент листа MS EXCEL с результатами расчёта после нахождения оптимальной величины среднего смещения с помощью надстройки «Поиск решения»

Исходя из полученных данных, при оптимальной величине среднего смещения (в значениях СКО), равной 0,143, устанавливается экстремум линейной функции экономии Э. При таком смещении доли годной продукции составляет 38%, исправимого брака – 36% и неисправимого брака – 26%. Это означает, что дефекты примерно 5% исправимого брака, появляющегося при смещении центра настройки, будет экономически целесообразно устранить.

Таким образом, метод линейного программирования (с помощью надстройки «Поиск решения» MS EXCEL) позволяет быстро находить оптимальную величину смещения центра настройки, при котором будет достигнут максимальный экономический эффект при металлообработке на станках с программным управлением. Гибкость программы MS EXCEL позволяет быстро оценивать и выполнять промежуточные вычисления с большим количеством данных, а также автоматизировать необходимые вычисления. Предложенный метод успешно опробован на одном из предприятий г. Кирова.

Выводы

1. Исходя из условия максимальной экономической целесообразности, разработан статистически обоснованный метод оптимизации настройки инструмента.

2. Метод реализуем в настоящее время в общедоступном офисе программы MS EXCEL и в других программных продуктах, где возможно решение конкретных вариационных экстремальных задач, например, для оптимизации настройки станка с программным управлением.

3. При распространении на весь возможный спектр начальных условий и представлении результатов в виде, доступном для любого исполнителя, данный метод должен стать надёжным инструментом оптимизации производственных процессов.

Список литературы

1. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения.

2. Саймон Д. Анализ данных в Excel: наглядный курс создания отчетов, диаграмм и сводных таблиц / пер. с англ. М.: Изд. дом «Вильямс», 2004. 528 с.

3. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 1 / под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Сулова. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2001. 910 с.

4. Маталин А. А. Технология машиностроения: учебник. 2-е изд., испр. СПб.: Изд-во «Лань», 2008. 512 с.

5. Клепиков В. В. Технология машиностроения: учебник / В. В. Клепиков, А. Н. Бодров. 2-е изд. М.: ФОРУМ, 2008. 864 с.

6. Созонов С. В. Разработка моделей оптимизации производственной программы промышленного предприятия на основе формулирования целевых функций // Экономические науки. 2010. Т. 67. № 6. С. 231–235.

7. Просветов Г. И. Математические методы и модели в экономике: задачи и решения учеб.-практ. пособие. М.: Альфа-Пресс, 2008. 344 с.

ИВАНОВ-ПОЛЬСКИЙ Константин Вячеславович – старший преподаватель кафедры технологии машиностроения, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: co27vs@yandex.ru

ПЕВЗНЕР Михаил Зиновьевич – кандидат технических наук, профессор по кафедре технологии машиностроения, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: mikhailpevzner@yandex.ru

СЯСЕГОВ Данил Геннадьевич – магистрант, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: d.siasegov@gmail.com

