
УДК 621.91.01

В. М. Пашкевич, М. Н. Миронова

**ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
НА ТОЧНОСТЬ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОСЕЙ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ОТВЕРСТИЙ**

UDC 621.91.01

V. M. Pashkevich, M. N. Mironova

**INFLUENCE OF DESIGN-ENGINEERING FACTORS ON THE ACCURACY OF
LOCATION OF AXES OF PROCESSED OPENINGS**

Аннотация

Рассмотрены вопросы обеспечения точности расположения осей обрабатываемых отверстий. Использован подход, базирующийся на технологиях функциональных семантических сетей. Проведен анализ влияния конструктивно-технологических факторов на точность расположения осей обрабатываемых отверстий. Определена степень влияния составляющих на суммарную погрешность обработки отверстий.

Ключевые слова:

точность расположения осей обрабатываемых отверстий, искусственный интеллект, функциональные семантические сети.

Abstract

The issues of ensuring the accuracy of location of axes of processed openings are considered in this article. The approach is used which is based on the technologies of functional semantic networks. The influence of design-engineering factors on the accuracy of location of axes of processed openings has been analyzed. The extent of influence of components on the total error of openings processing has been defined.

Key words:

accuracy of location of axes of processed openings, artificial intelligence, functional semantic networks.

Для эффективного управления точностью механической обработки требуются знания о взаимосвязях между параметрами технологического процесса и степени их влияния на суммарную погрешность обработки. Выявление таких взаимосвязей возможно на основе подхода, базирующегося на технологиях функциональных семантических сетей, позволяющего обеспечить точность механической обработки на основе решения задачи многофакторной оптимизации [1].

Оптимизация параметров технологического процесса на семантической сети в рассматриваемом случае сводит-

ся к тому, чтобы, используя функциональные зависимости, определить значения параметров, при которых обеспечивался бы максимальный запас точности.

Для реализации описанной методологии была создана интеллектуальная система SEMANTIC, осуществляющая управление точностью механической обработки [2]. С ее помощью были исследованы степени влияния конструктивно-технологических факторов на точность расположения осей обрабатываемых отверстий.

Влияние параметров рассматривалось применительно к условиям обра-

ботки отверстия на вертикально-сверлильном станке жестко закрепленным инструментом, направляемым

втулками стационарной кондукторной плиты (рис. 1).

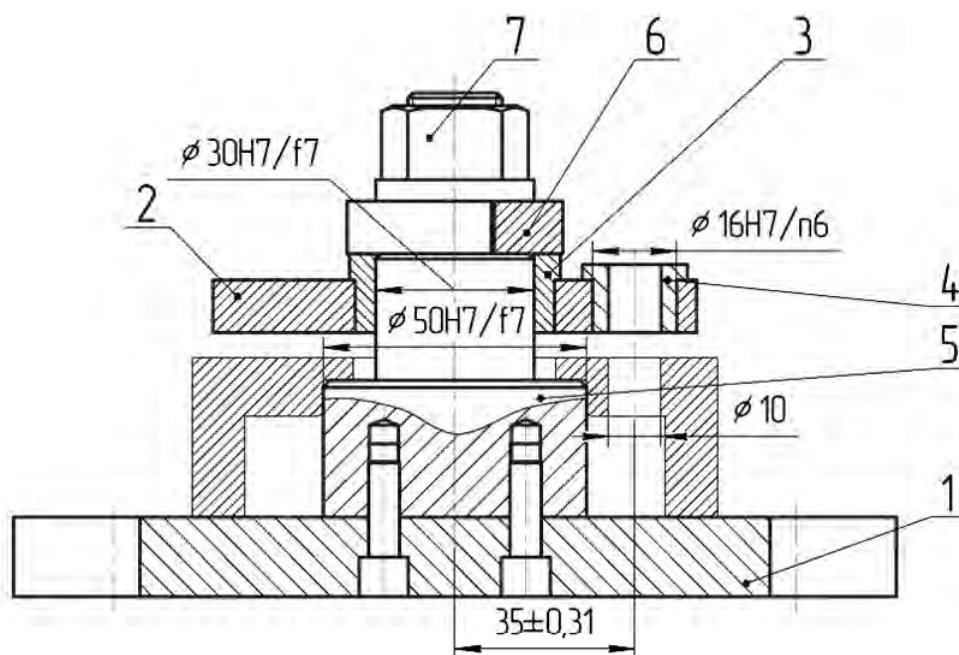


Рис. 1. Схема базирования заготовки в приспособлении на вертикально-сверлильной операции: 1 – основание; 2 – плита; 3 – втулка; 4 – кондукторная втулка; 5 – ось; 6 – быстросъемная шайба; 7 – гайка

Исходные данные, принятые в работе: допуск на расположение оси обрабатываемого отверстия $T_{обр} = 620$ мкм; допуск базовой поверхности заготовки $TD = 25$ мкм; твердость материала заготовки по Бринеллю – 241 НВ; диаметр инструмента $D_{ин} = 10$ мм; погрешность станка $\varepsilon_{ст} = 2$ мкм; погрешность приспособления $\varepsilon_{пр} = 218$ мкм; длина обрабатываемого отверстия $L = 24$ мм; количество деталей в настроечной партии, обрабатываемой в период между подналадками станка, $Nd = 50$; стойкость инструмента $T = 25$ мин; подача инструмента $S = 0,28$ мм/об; длина кондукторной втулки $L_{вт} = 12$ мм; расстояние от поверхности заготовки до кондукторной втулки $L_{zv} = 5$ мм; максимальный зазор между шпонкой и Т-образным пазом станка $S_{shp} = 0,025$ мм; поле допуска на величину обратной конусности $T_k = 0,06$ мм; поле допуска на размер

отверстия сменной втулки $TA = 0,011$ мм; поле допуска на размер направляющей части инструмента $TB = 0,027$ мм; погрешность размеров между осью шпинделя и базовыми элементами приспособления $\delta = 0,050$ мм; зазор в сопряжении «втулка–инструмент» $S_1 = 0,017$ мм.

В результате исследований была ранжирована степень влияния ряда составляющих на суммарную погрешность обработки концевым инструментом (рис. 2).

Из рис. 2 видно, что наибольшее влияние на суммарную погрешность обработки оказывает погрешность приспособления (40...70 %), а наименьшее – погрешность, обусловленная упругими смещениями оси концевого инструмента (0,5...10 %).

Таким образом, наиболее эффективным методом управления суммарной погрешностью расположения осей об-

рабатываемых отверстий является изменение конструктивно-технологических параметров инструментальной наладки и узла направления инструмента (зазора в сопряжении «втулка–инструмент», длины кондукторной втулки, биения инструментальной наладки и др.), погрешности установки заготов-

ки, характера и интенсивности износа втулок и т. д, а задачу проектирования станочного приспособления следует рассматривать как подзадачу обеспечения точности положения отверстия. Наиболее эффективно такая задача решается при использовании функциональных семантических сетей.

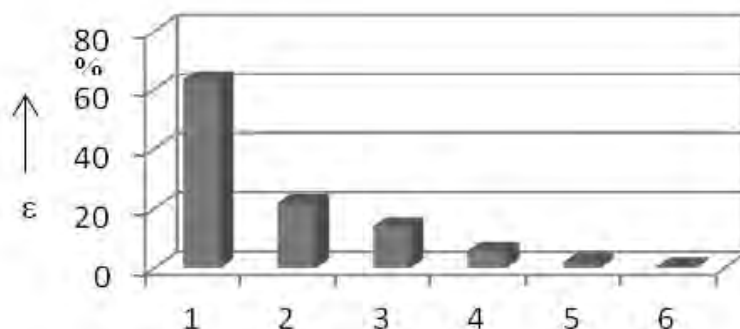


Рис. 2. Относительные степени влияния ϵ составляющих на суммарную погрешность обработки концевым инструментом: 1 – погрешность приспособления; 2 – погрешность станка; 3 – погрешность, обусловленная геометрическим смещением оси концевого инструмента; 4 – погрешность базирования; 5 – погрешность, связанная с температурными деформациями; 6 – погрешность, обусловленная упругими смещениями оси концевого инструмента

В результате исследований были получены зависимости погрешностей расположения осей обрабатываемых отверстий от комплекса конструктивно-технологических параметров, при этом влияние последних рассматривалось применительно к величине суммарной

погрешности обработки.

На рис. 3 представлена зависимость суммарной погрешности обработки (величины смещения оси отверстия) от допуска на диаметр базового отверстия заготовки.

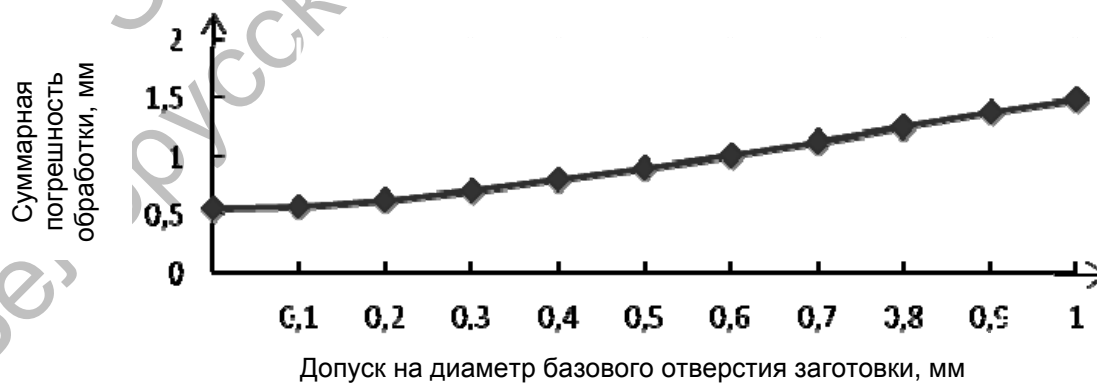


Рис. 3. Зависимость смещения оси отверстия от допуска на диаметр базового отверстия заготовки

Согласно рис. 3, обработка базового отверстия заготовки с точностью грубее 10-го качества несущественно влияет на суммарную погрешность обработки, а при изменении допуска на диаметр базового отверстия заготовки с 14 по 11 качество погрешность обработки уменьшается на 62 % (на 0,557 мм). Кроме того, обеспечение высокой точности базового отверстия заготовки приведет к дополнительным

затратам, а точность суммарной обработки существенно не повысится.

Увеличение зазора между шпонкой и Т-образным пазом станка приводит к увеличению погрешности расположения осей обрабатываемых отверстий (рис. 4). Рекомендуется выдерживать зазор менее 0,04 мм, т. к. при такой величине он не оказывает значительного влияния на точность расположения оси отверстия.

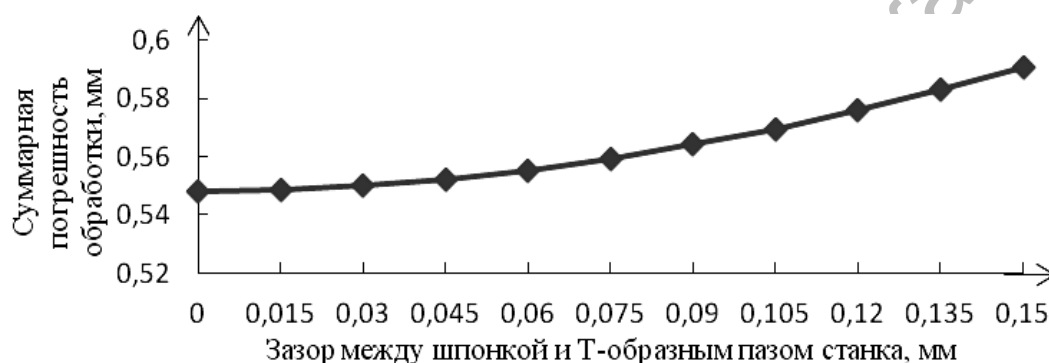


Рис. 4. Зависимость смещения оси отверстия от зазора между шпонкой и Т-образным пазом станка

Зависимость смещения оси отверстия от длины образующей заготовки, по которой происходит контакт с базовыми элементами приспособления (рис. 5), позволяет определить оптимальную длину контакта. При этом дос-

точно резко снижается степень влияния последней на точность расположения оси отверстия. В связи с этим следует рекомендовать длину контакта не менее 70 мм.

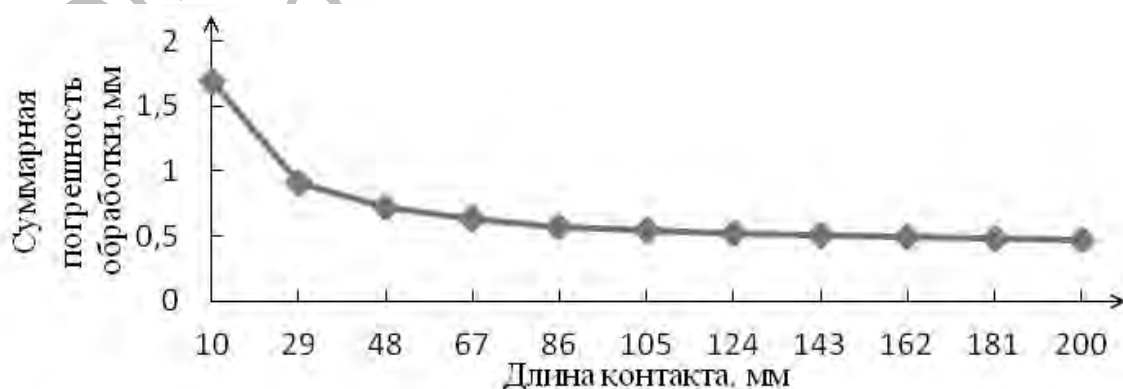


Рис. 5. Зависимость смещения оси отверстия от длины образующей заготовки

Рекомендуется не допускать увеличение износа установочных элементов приспособления свыше 0,06 мм, т. к. это приводит к значительному росту погрешности расположения осей отверстия (рис. 6). При увеличении износа свыше 0,3 мм погрешность расположе-

ния оси отверстия превышает погрешность, возникающую при использовании нового приспособления, на 0,151 мм, что резко снижает точность выполняемого размера ($35 \pm 0,31$) мм более чем на три качества.

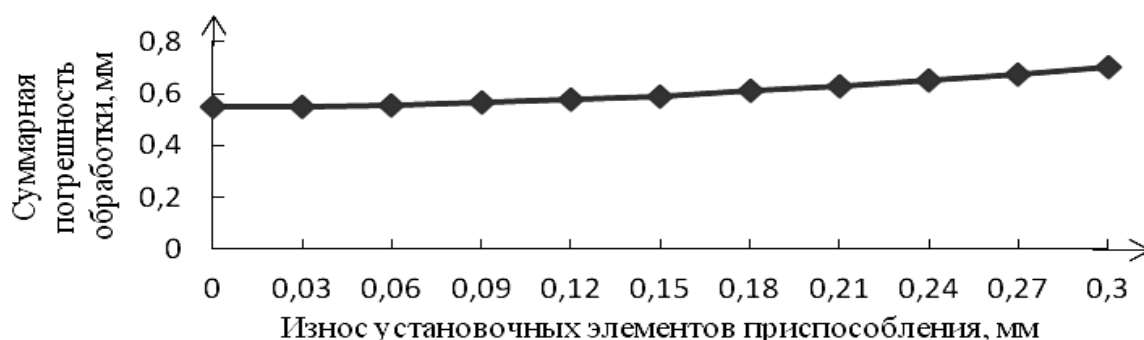


Рис. 6. Зависимость смещения оси отверстия от износа установочных элементов приспособления

Установлено, что допуск на величину обратной конусности сверла почти не влияет на погрешность расположения осей обрабатываемых отверстий

(рис. 7), т. к. даже при увеличении поля допуска с 0,015 до 0,15 мм погрешность расположения осей обрабатываемых отверстий изменяется всего на 4,4 мкм.

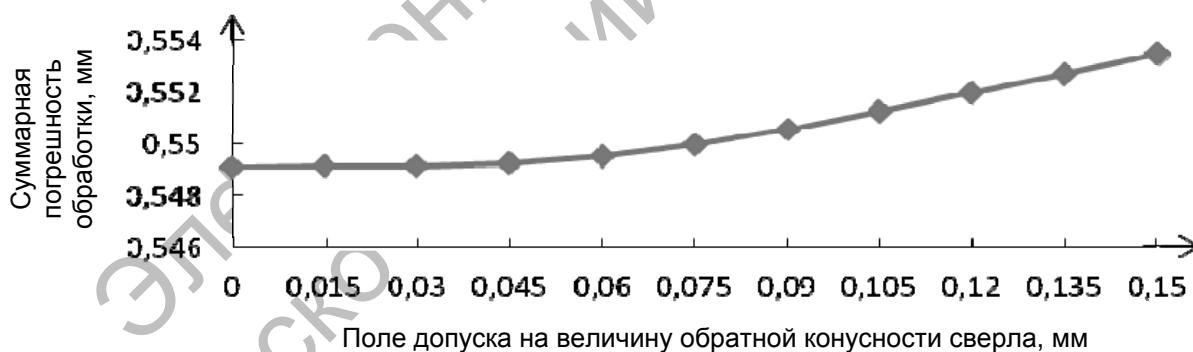


Рис. 7. Зависимость смещения оси отверстия от поля допуска на величину обратной конусности сверла

Количество установов незначительно влияет на смещение оси обрабатываемого отверстия (рис. 8), поэтому нет необходимости в частой замене установочных элементов станочных приспособлений.

В связи с этим величины допуска на величину обратной конусности свер-

ла и число установов заготовок не следует рассматривать при оптимизации параметров технологической системы в качестве управляемых.

Зависимость смещения оси отверстия от диаметра инструмента (рис. 9) позволяет рекомендовать значение исследуемого параметра, обеспечивающее

минимальную суммарную погрешность. Данное условие выполняется для сверл

диаметром 5...12 мм применительно к рассматриваемым условиям обработки.

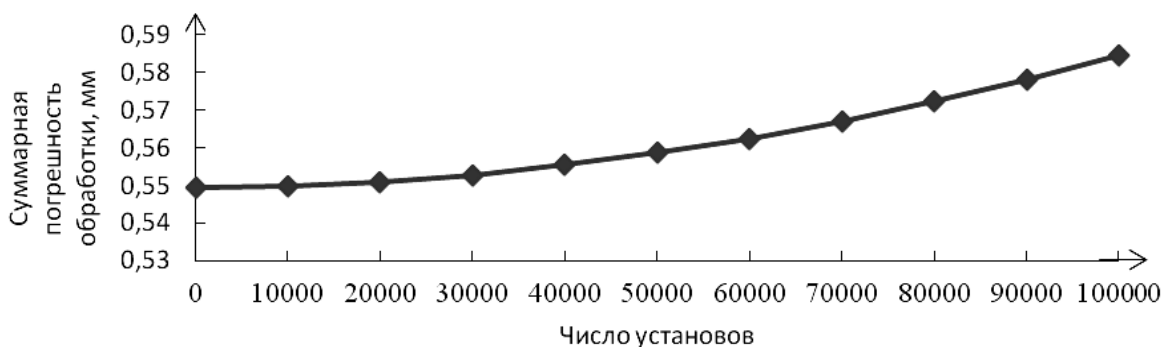


Рис. 8. Зависимость смещения оси отверстия от числа установов

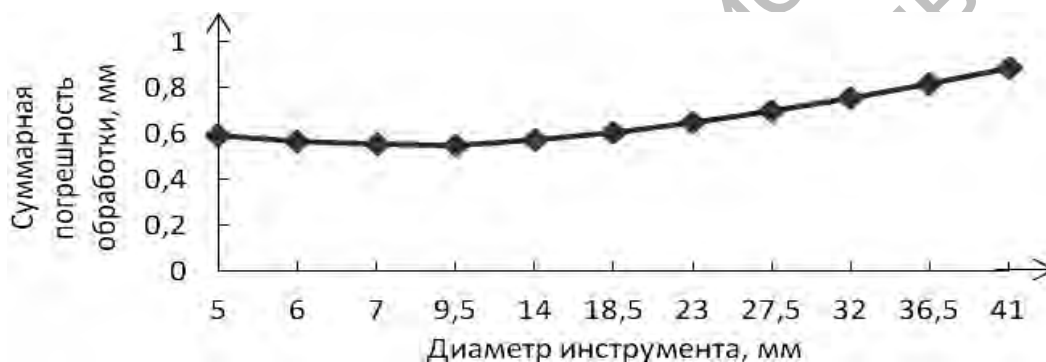


Рис. 9. Зависимость смещения оси отверстия от диаметра инструмента

Установлено, что суммарная погрешность расположения оси отверстия при увеличении поля допуска на размер отверстия сменной втулки (рис. 10), поля допуска на размер направляющей

части инструмента (рис. 11), диаметрального зазора между кондукторной втулкой и инструментом (рис. 12) возрастает по зависимостям, близким к линейным.

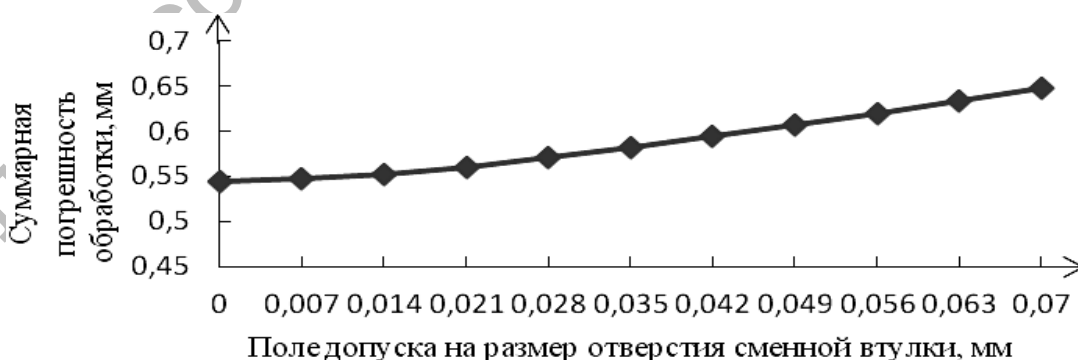


Рис. 10. Зависимость смещения оси отверстия от поля допуска на размер отверстия сменной втулки

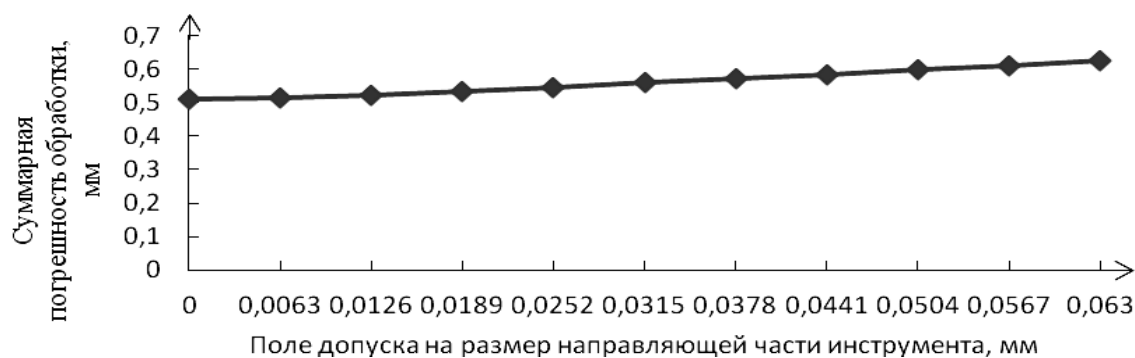


Рис. 11. Зависимость смещения оси отверстия от поля допуска на размер направляющей части инструмента

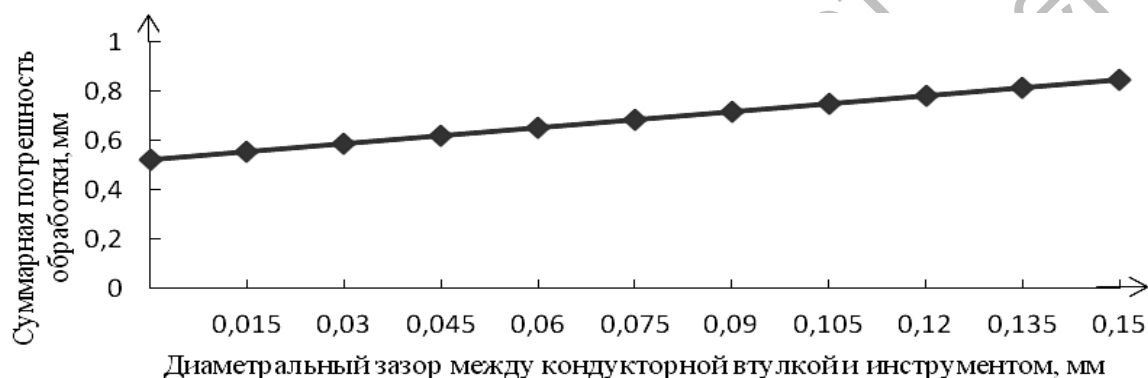


Рис. 12. Зависимость смещения оси отверстия от диаметрального зазора между кондукторной втулкой и инструментом

Для ликвидации этой погрешности рекомендуются следующие значения параметров: допуск на размер отверстия сменной втулки не должен превышать 0,05 мм; допуск на размер направляющей части инструмента – не более 0,01 мм; диаметральный зазор между кондукторной втулкой и инструментом – не более 0,01 мм.

Увеличение зазора между сменной и постоянной втулками также приводит к увеличению смещения оси отверстия (рис. 13), при этом желательно, чтобы такой зазор не превышал величины 0,02 мм, при которой его влияние на суммарную погрешность станет заметным.

Установлено, что зависимость величины смещения оси отверстия от несоосности наружной и внутренней по-

верхностей сменной втулки имеет линейный вид (рис. 14). При увеличении несоосности на 5 мкм, смещение оси увеличивается в среднем также на 5 мкм. Рекомендуется не допускать несоосность свыше 0,02 мм.

Зависимость смещения оси отверстия от длины сменной втулки позволяет определить длину, при которой почти исчезает влияние на точность расположения оси отверстия. Эту длину и следует считать оптимальной для обеспечения точности расположения оси отверстия, т. к. дальнейшее увеличение длины втулки нецелесообразно (рис. 15).

Износ сменной втулки приводит к увеличению погрешности расположения осей обрабатываемых отверстий (рис. 16).

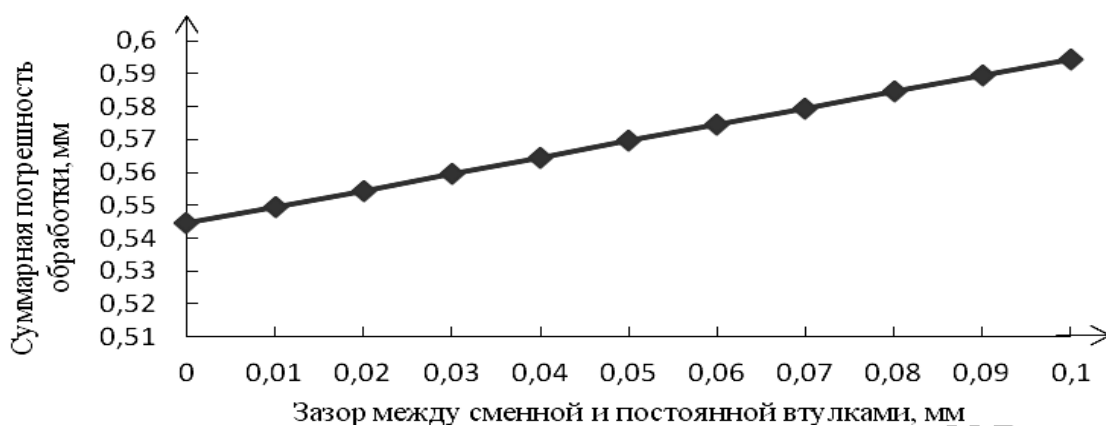


Рис. 13. Зависимость смещения оси отверстия от зазора между сменной и постоянной втулками

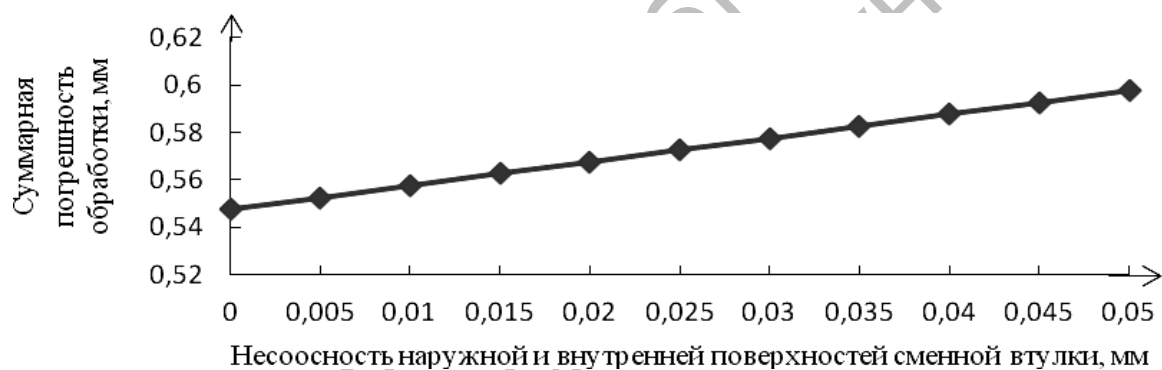


Рис. 14. Зависимость смещения оси отверстия от несоосности наружной и внутренней поверхностей сменной втулки

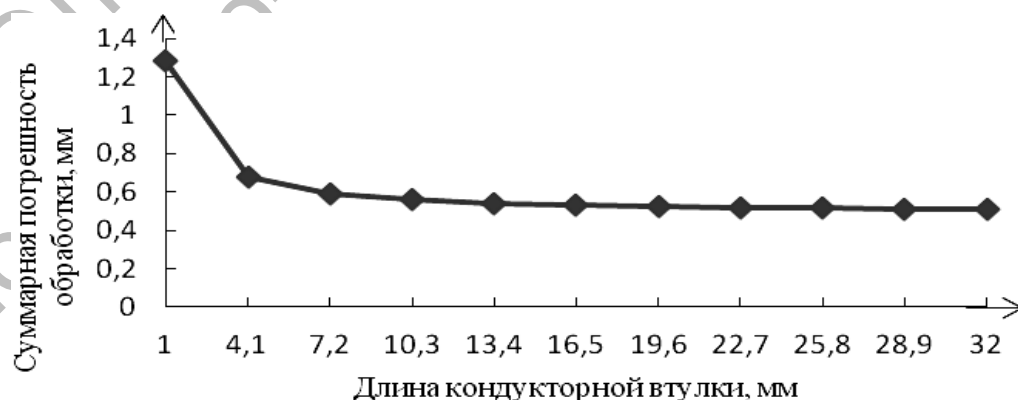


Рис. 15. Зависимость смещения оси отверстия от длины кондукторной втулки

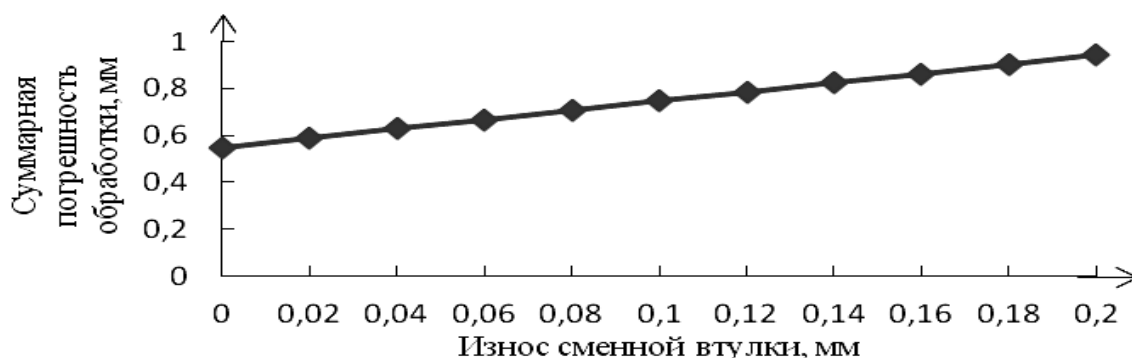


Рис. 16. Зависимость смещения оси отверстия от износа сменной втулки

Так, при износе, равном 0,02 мм, смещение оси отверстия больше смещения, возникающего при использовании новой втулки, на 0,039 мм, что соответствует ухудшению точности выполняемого размера более чем на один квалитет. При более грубом допуске выполняемого размера, соответствующем 11 квалитету, износ втулки мало влияет на погрешность смещения оси отвер-

стия. Рекомендуется не допускать износа втулки свыше 0,01 мм.

Установлено, что с увеличением периода стойкости инструмента погрешность расположения осей обрабатываемых отверстий уменьшается незначительно (рис. 17), поэтому его не следует рассматривать в качестве управляемого параметра.

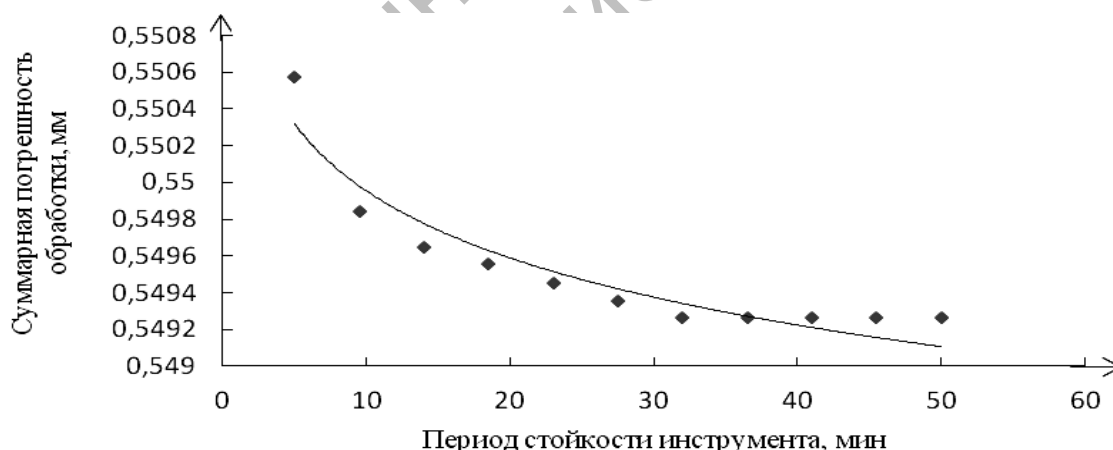


Рис. 17. Зависимость смещения оси отверстия от периода стойкости инструмента

Увеличение подачи инструмента приводит к росту погрешности расположения осей обрабатываемых отверстий (рис. 18). Так, при изменении подачи с 0,1 до 0,3 мм/об погрешность расположения осей обрабатываемых

отверстий увеличивается на 0,048 мм. В наименьшей степени влияют на суммарную погрешность подачи в интервале 0,1...0,18 мм/об.

Зависимость, представленная на рис. 19, позволяет рекомендовать вели-

чину неравномерности припуска на обработку, при превышении которой увеличивается степень его влияния на точность расположения оси отверстия, не более 0,2 мм.

Ширина среза, превышающая 3 мм, почти не влияет на точность расположения оси отверстия (рис. 20), однако довольно заметно ее влияние при малых значениях.

Скорость резания незначительно влияет на смещение оси обрабатываемого отверстия (рис. 21), т. к. увеличение скорости резания с 5 до 35 м/мин приводит к изменению смещения оси отверстия на 0,015 мм. Очевидно, что данный параметр следует считать управляемым только при повышенных требованиях к точности расположения обрабатываемых отверстий (точнее 8 квалитета).

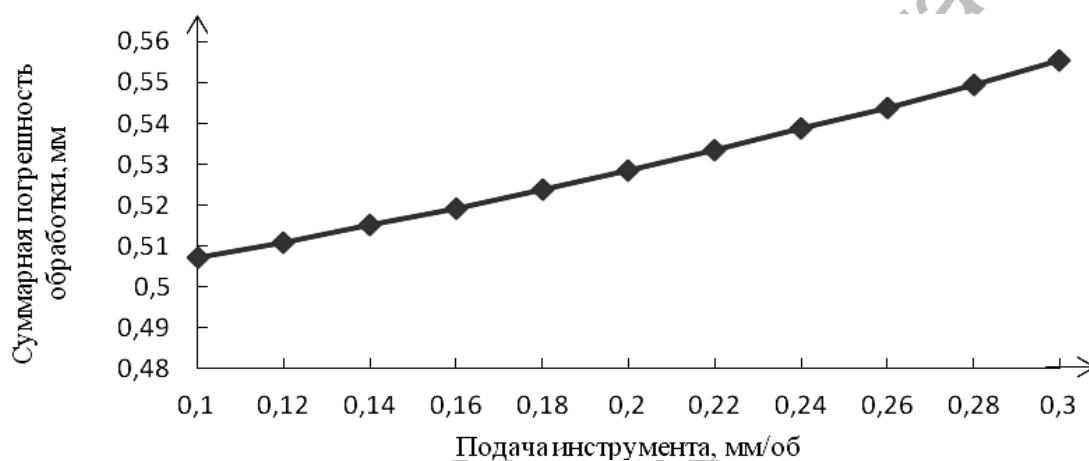


Рис. 18. Зависимость смещения оси отверстия от подачи инструмента

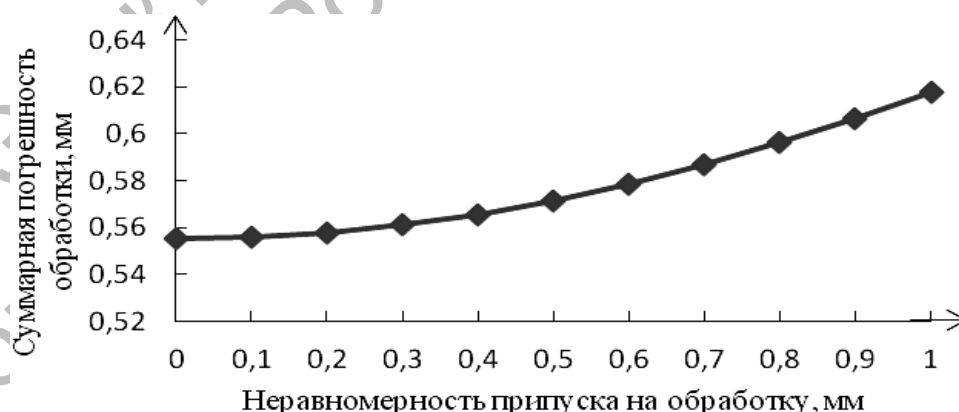


Рис. 19. Зависимость смещения оси отверстия от величины неравномерности припуска на обработку

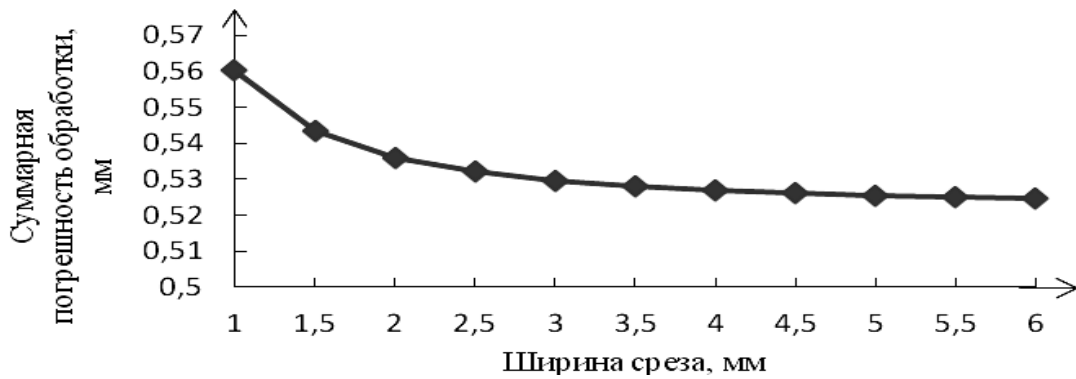


Рис. 20. Зависимость смещения оси отверстия от ширины среза

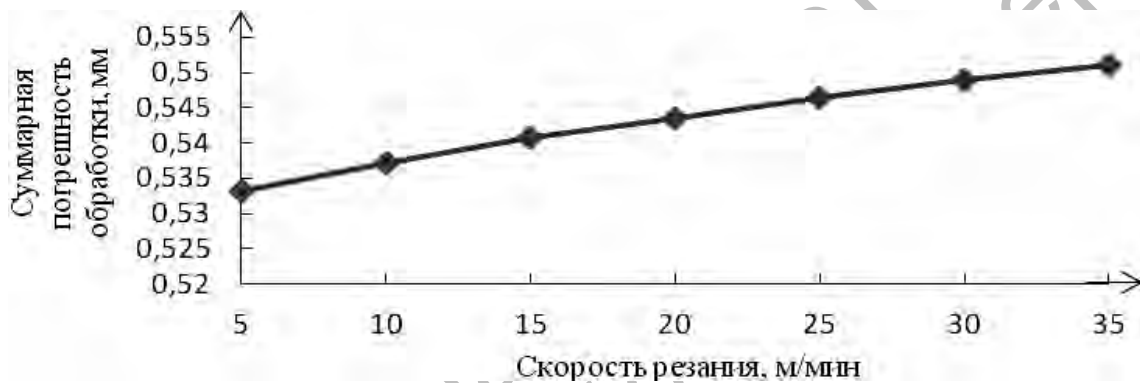


Рис. 21. Зависимость смещения оси отверстия от скорости резания

Выбор инструментального материала влияет на погрешность расположения осей отверстий (рис. 22). Так, при использовании быстрорежущей стали в качестве инструментального материала смещения оси больше на 30 мкм, чем при использовании твердого сплава. Очевидно, что влияние материала следует учитывать только при обработке точнее 9 качества.

При высокой точности расположения осей обрабатываемых отверстий применение смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) позволит уменьшить смещение осей обрабатываемых отверстий на 0,028 мм (рис. 23), что эквивалентно относительному увеличению

точности приблизительно на один качество. Такие показатели соответствуют предположению о снижении температуры режущей кромки сверла с 350 до 20 °С. Кроме того, при точности расположения осей отверстий свыше 10 качества использование СОЖ не оказывает существенного влияния на суммарную погрешность обработки.

Анализ представленных результатов позволил разработать рекомендации по снижению погрешностей обработки отверстий.

Показано, что влияние отдельных технологических факторов на суммарную погрешность обработки отличается различной степенью.

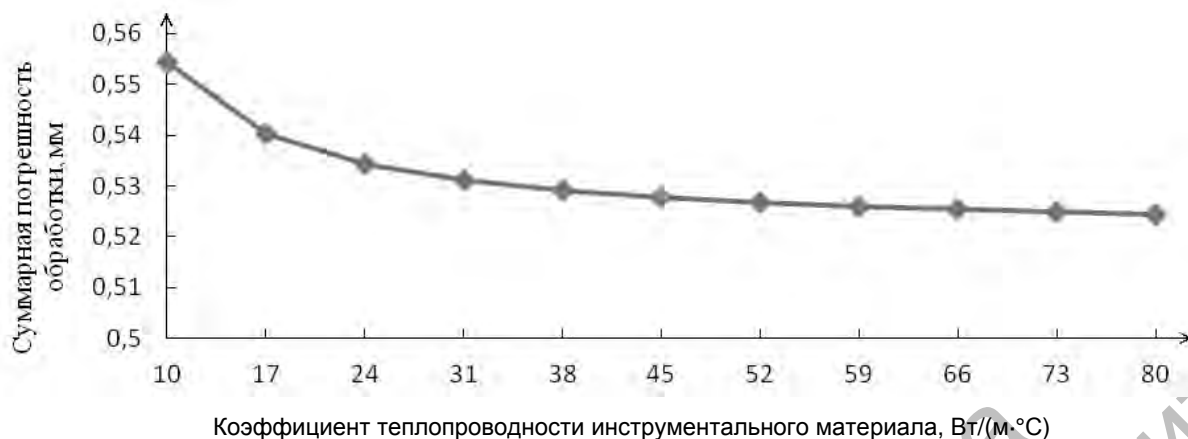


Рис. 22. Зависимость смещения оси отверстия от коэффициента теплопроводности инструментального материала

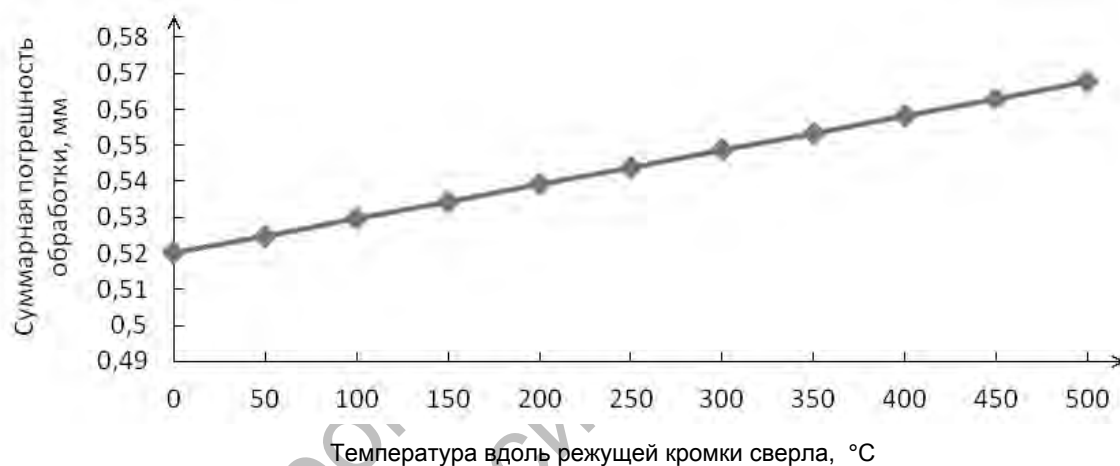


Рис. 23. Зависимость смещения оси отверстия от температуры вдоль режущей кромки сверла

В табл. 1 представлен рекомендуемый порядок изменения параметров технологического процесса, сформированный на основе анализа решений

многочисленных тестовых задач по оценке точности расположения осей обрабатываемых отверстий.

Табл. 1. Рекомендуемая последовательность управления точностью расположения оси обрабатываемого отверстия и относительное влияние параметра на суммарную погрешность

| Порядок управления | Наименование управляемого параметра | Относительное влияние параметра на суммарную погрешность, % |
|--------------------|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| 1 | Допуск базовой поверхности заготовки | 3,4...45,7 |
| 2 | Площадь контакта опоры приспособления с заготовкой | 3...43 |
| 3 | Длина образующей, по которой происходит контакт заготовки с приспособлением | 4...42,3 |
| 4 | Износ сменной втулки | 0,5...41,6 |

Окончание табл. 1

| 1 | 2 | 3 |
|----|---|-------------|
| 5 | Сила, действующая по нормали к опоре приспособления | 5...40,7 |
| 6 | Зазор между инструментом и втулкой | 2,6...33,8 |
| 7 | Износ установочных элементов приспособления | 2...21,5 |
| 8 | Длина кондукторной втулки | 7,9...20 |
| 9 | Параметр шероховатости поверхности заготовки | 2...20 |
| 10 | Поле допуска на размер направляющей части инструмента | 6,1...18 |
| 11 | Поле допуска на величину обратной конусности инструмента | 0,4...16,8 |
| 12 | Конструктивное расстояние между осями отверстий в кондукторной плите | 2...12 |
| 13 | Поле допуска на размер отверстия сменной втулки | 0,4...15,9 |
| 14 | Максимальный зазор между шпонкой и Т-образным пазом станка | 0,8...11,8 |
| 15 | Отклонение от соосности осей постоянной втулки и отверстия в кондукторной плите | 0,2...10,6 |
| 16 | Неравномерность припуска на обработку | 0,12...10,2 |
| 17 | Подача инструмента | 0,32...8,7 |
| 18 | Отклонение от соосности наружной и внутренней поверхностей сменной втулки | 0,9...8,4 |
| 19 | Температура вдоль режущей кромки сверла | 0,9...8,4 |
| 20 | Зазор между сменной и постоянной втулками | 1,3...8,4 |
| 21 | Твердость материала заготовки по Бринеллю | 0,5...6,8 |
| 22 | Коэффициент теплопроводности материала инструмента | 0,02...5,4 |
| 23 | Отклонение от перпендикулярности основания колонны относительно ее рабочей поверхности | 0,6...5,3 |
| 24 | Отклонение от параллельности оси сверлильной головки относительно рабочей поверхности колонны | 0,6...5,3 |
| 25 | Коэффициент линейного расширения материала детали | 0,55...5,3 |
| 26 | Отклонение от параллельности плоскости приспособления относительно плоскости стола | 0,5...3,8 |
| 27 | Отклонение от перпендикулярности плоскости стола относительно боковой поверхности | 0,5...3,8 |
| 28 | Расстояние от оси стола станка до рабочей поверхности колонны | 1...3,8 |
| 29 | Расстояние от оси вращения шпинделя до рабочей поверхности колонны | 1...3,8 |
| 30 | Интенсивность износа инструмента | 0,02...3,7 |
| 31 | Скорость резания | 0,46...3,24 |
| 32 | Число установов заготовок | 0,4...1,61 |
| 33 | Отклонение от параллельности оси вращения шпинделя относительно оси сверлильной головки | 0,08...1,6 |
| 34 | Количество деталей в настроечной партии, обрабатываемой в период между подналадками станка | 0,05...1 |
| 35 | Период стойкости инструмента | 0,13...0,5 |

Таким образом, результаты исследований позволили выявить основные закономерности влияния конструктивно-технологических факторов системы на точность обработки отверстий на основе многочисленных компьютерных экспериментов со случайными комби-

нациями параметров на основе применения функциональных семантических сетей.

Использование описанного подхода позволяет строить эффективные алгоритмы управления точностью механической обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Поспелов, Г. С.** Искусственный интеллект – основа новой информационной технологии / Г. С. Поспелов. – М. : Наука, 1988. – 280 с.
2. **Пашкевич, В. М.** Оптимизация режимов резания на основе использования семантических сетей / В. М. Пашкевич, М. Н. Миронова // Вестн. Белорус. нац. техн. ун-та. – 2011. – № 3. – С. 9–12.
3. **Пашкевич, В. М.** Многофакторная оптимизация параметров механической обработки на основе использования семантических сетей / В. М. Пашкевич, М. Н. Миронова // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2011. – № 4. – С. 51–61.

Статья сдана в редакцию 12 октября 2015 года

Виктор Михайлович Пашкевич, д-р техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет.
E-mail: pvm@bk.ru.

Марина Николаевна Миронова, ст. преподаватель, Белорусско-Российский университет.
E-mail: MarinaMN16@mail.ru.

Victor Mikhailovich Pashkevich, DSc (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University.
E-mail: pvm@bk.ru

Marina Nikolayevna Mironova, senior lecturer, Belarusian-Russian University. E-mail: MarinaMN16@mail.ru.