




**В. Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ**

**МЕТОД ПОДОБИЯ**  
**В ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

2-е издание

 «Инфра-Инженерия»

**В. Ф. Безъязычный**

**МЕТОД ПОДОБИЯ  
В ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

*Монография*

Второе издание, исправленное и дополненное

Москва Вологда  
«Инфра-Инженерия»  
2021

УДК 621.8  
ББК 34.4  
Б39

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор кафедры инновационных технологий машиностроения  
Пермского национального исследовательского политехнического университета

*Макаров В. Ф.;*

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой основ проектирования машин  
Ростовского государственного университета путей сообщения *Чукарин А. Н.*

**Безъязычный, В. Ф.**

**Б39** Метод подобия в технологии машиностроения : монография / В. Ф. Безъязычный. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 356 с. : ил., табл.

ISBN 978-5-9729-0766-3

Показано применение метода теории подобия для изучения параметров качества поверхностного слоя и точности механической обработки деталей, получаемых различными способами. Приведены исходные соотношения метода подобия при обработке материалов резанием. На основе этого получены результаты исследования качества поверхностного слоя обработанной поверхности детали и погрешности ее обработки. Предложена методика автоматизации расчета технологических условий обработки с обеспечением заданных параметров точности и качества поверхностного слоя, а также методика назначения технологических условий обработки с учетом эксплуатационных свойств деталей машин.

Для инженерно-технических работников и специалистов промышленных предприятий, преподавателей, аспирантов и студентов старших курсов технических вузов.

УДК 621.8  
ББК 34.4

ISBN 978-5-9729-0766-3

© Безъязычный В. Ф., 2021

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2021

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2021

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	8
<b>1. ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ОСОБО ОТВЕТСТВЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН</b> .....	12
<b>2. МЕТОД ПОДОБИЯ В ИНЖЕНЕРИИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН</b> .....	22
2.1. ИСХОДНЫЕ СООТНОШЕНИЯ МЕТОДА ПОДОБИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ РЕЗАНИЕМ.....	22
2.2. РАСЧЁТ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ МАТЕРИАЛА ДЕТАЛИ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ТЕПЛОВЫМ И СИЛОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА ПОВЕРХНОСТНЫЙ СЛОЙ.....	24
2.2.1. Определение температуры в поверхностном слое материала детали при механической обработке лезвийным инструментом.....	24
2.2.2. Остаточные напряжения, обусловленные тепловым воздействием на поверхностный слой материала детали при обработке лезвийным инструментом.....	32
2.2.3. Остаточные напряжения, обусловленные силовым воздействием на поверхностный слой материала детали при обработке лезвийным инструментом.....	42
2.2.4. Суммарные остаточные напряжения при совместном воздействии на поверхностный слой тепла и сил резания.....	48
2.2.5. Остаточные напряжения в поверхностном слое материала детали при шлифовании, обусловленные тепловым воздействием на поверхностный слой.....	49
2.2.6. Остаточные напряжения в поверхностном слое материала детали при дорновании отверстий.....	58
2.2.7. Определение остаточных напряжений в поверхностном слое материала детали от действия теплового фактора с учётом упрочнения обрабатываемого материала.....	75
2.3. РАСЧЁТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ МАТЕРИАЛА ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ДЕТАЛИ С УЧЁТОМ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ.....	84
2.4. РАСЧЁТ СТЕПЕНИ И ГЛУБИНЫ НАКЛЁПА В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ МАТЕРИАЛА ДЕТАЛИ.....	91
2.4.1. Определение глубины наклёпа при точении.....	91
2.4.2. Определение глубины наклёпа при шлифовании.....	93
2.4.3. Расчётное определение степени наклёпа.....	95
2.5. РАСЧЁТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ.....	109
2.5.1. Определение параметров шероховатости обрабатываемой поверхности с учётом физико-механических свойств обрабатываемого и инструментального материалов.....	109
2.6. ТЕОРЕТИКО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МАТЕРИАЛА ДЕТАЛЕЙ.....	115
2.6.1. Определение остаточных напряжений при точении.....	115
2.6.2. Определение высоты неровностей обработанной поверхности.....	116



2.6.3. Расчёт глубины наклёпа в поверхностном слое материала обработанной поверхности детали при обработке точением.....	120
<b>3. РАСЧЁТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ОБРАБОТКИ, ОБУСЛОВЛЕННОЙ ПРОЦЕССОМ РЕЗАНИЯ.....</b>	<b>122</b>
3.1. ПОГРЕШНОСТЬ, ОБУСЛОВЛЕННАЯ НЕДОСТАТОЧНОЙ ЖЁСТКОСТЬЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СПИЗ.....	124
3.2. ПОГРЕШНОСТЬ ОБРАБОТКИ ВСЛЕДСТВИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ДЕФОРМАЦИИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА.....	137
3.3. ПОГРЕШНОСТЬ ОБРАБОТКИ, ОБУСЛОВЛЕННАЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ЗАГОТОВКИ.....	143
3.4. ПОГРЕШНОСТЬ ОБРАБОТКИ ВСЛЕДСТВИЕ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА.....	149
3.5. СУММАРНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ОБРАБОТКИ.....	153
3.6. РАСЧЁТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ НА СТАНКАХ С ЧПУ.....	155
3.7. ВЛИЯНИЕ ЖЁСТКОСТИ ПОЛЗУНА ТОКАРНО-КАРУСЕЛЬНОГО СТАНКА НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ.....	161
<b>4. АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЁТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ КОМПЛЕКС ЗАДАННЫХ ПАРАМЕТРОВ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ И КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ.....</b>	<b>172</b>
4.1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ ПРОБЛЕМЫ РАСЧЁТА РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ.....	172
4.2. РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ И КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МАТЕРИАЛА ДЕТАЛЕЙ.....	173
4.3. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ РАСЧЁТА РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ.....	174
4.4. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ.....	178
4.5. БАЗОВАЯ СИСТЕМА НАЗНАЧЕНИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ.....	181
4.6. МНОГОУРОВНЕВАЯ СИСТЕМА РАСЧЁТА РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ.....	184
<b>5. АЛГОРИТМ РАСЧЁТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ЗАДАННЫЕ ПАРАМЕТРЫ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ И ТОЧНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ ТОЧЕНИЕМ.....</b>	<b>188</b>
5.1. ВЫБОР ИСХОДНЫХ ДАННЫХ.....	188
5.2. ФОРМИРОВАНИЕ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ.....	196
5.3. ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОГРАНИЧЕНИЙ, НАКЛАДЫВАЕМЫХ НА ПРОЦЕСС ОПТИМИЗАЦИИ.....	197
5.4. ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ ПОИСК.....	198
5.4.1. Расчёт параметров сечения среза (толщина среза $a_1$ , ширина среза $b_1$ и суммарная длина режущих кромок $b$ ).....	198
5.4.2. Расчёт безразмерных комплексов процесса резания ( $\Gamma, D, E, M, B, V$ )...	200
5.4.3. Расчёт оптимальной температуры в зоне резания [41].....	200
5.4.4. Расчёт температуры на условной вершине реза (точке $A$ ) [41].....	201
5.4.5. Расчёт фактической температуры в зоне резания [41].....	201
5.4.6. Расчёт тангенциальной составляющей силы резания $P_z$ .....	201
5.4.7. Расчёт величины фиктивной подачи.....	201
5.4.8. Расчёт параметра шероховатости $Rz$ .....	202

2.6.3. Расчёт глубины наклёпа в поверхностном слое материала обработанной поверхности детали при обработке точением.....	120
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

<b>3. РАСЧЁТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ОБРАБОТКИ, ОБУСЛОВЛЕННОЙ ПРОЦЕССОМ РЕЗАНИЯ.....</b>	<b>122</b>
3.1. Погрешность, обусловленная недостаточной жёсткостью технологической системы СПИЗ.....	124
3.2. Погрешность обработки вследствие температурной деформации режущего инструмента.....	137
3.3. Погрешность обработки, обусловленная температурной деформацией обрабатываемой заготовки.....	143
3.4. Погрешность обработки вследствие износа режущего инструмента.....	149
3.5. Суммарная погрешность обработки.....	153
3.6. РАСЧЁТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ НА СТАНКАХ С ЧПУ.....	155
3.7. Влияние жёсткости ползуна токарно-карусельного станка на точность обработки.....	161
<b>4. АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЁТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ КОМПЛЕКС ЗАДАНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ И КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ.....</b>	<b>172</b>
4.1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ ПРОБЛЕМЫ РАСЧЁТА РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ.....	172
4.2. РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ И КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МАТЕРИАЛА ДЕТАЛЕЙ.....	173
4.3. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ РАСЧЁТА РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ.....	174
4.4. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ.....	178
4.5. БАЗОВАЯ СИСТЕМА НАЗНАЧЕНИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ.....	181
4.6. МНОГОУРОВНЕВАЯ СИСТЕМА РАСЧЁТА РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ.....	184
<b>5. АЛГОРИТМ РАСЧЁТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ЗАДАНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ И ТОЧНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ ТОЧЕНИЕМ.....</b>	<b>188</b>
5.1. ВЫБОР ИСХОДНЫХ ДАННЫХ.....	188
5.2. ФОРМИРОВАНИЕ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ.....	196
5.3. ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОГРАНИЧЕНИЙ, НАКЛАДЫВАЕМЫХ НА ПРОЦЕСС ОПТИМИЗАЦИИ.....	197
5.4. ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ ПОИСК.....	198
5.4.1. Расчёт параметров сечения среза (толщина среза $a_1$ , ширина среза $b_1$ и суммарная длина режущих кромок $b$ ).....	198
5.4.2. Расчёт безразмерных комплексов процесса резания ( $\Gamma, \Delta, E, M, B, V$ )...)	200
5.4.3. Расчёт оптимальной температуры в зоне резания [41].....	200
5.4.4. Расчёт температуры на условной вершине резца (точке $A$ ) [41].....	201
5.4.5. Расчёт фактической температуры в зоне резания [41].....	201
5.4.6. Расчёт тангенциальной составляющей силы резания $P_z$ .....	201
5.4.7. Расчёт величины фиктивной подачи.....	201
5.4.8. Расчёт параметра шероховатости $Rz$ .....	202

7.5. Анализ влияния технологических условий обработки на глубину наклёпа, вызываемого совместным действием теплового и силового факторов на поверхностный слой материала обрабатываемой детали.....	293
7.6. Оценка влияния СОТС на состояние обработанной поверхности.....	296
7.7. Результаты экспериментального исследования влияния технологических условий обработки на характеристики материала поверхностного слоя деталей машин.....	298
<b>8. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ В ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЁТАХ.....</b>	<b>305</b>
8.1. Определение скорости резания, обеспечивающей минимальную себестоимость изготовления изделия.....	305
8.2. Определение скорости резания, обеспечивающей максимальную производительность обработки.....	306
8.3. Определение режима резания, обеспечивающего заданную погрешность обработки.....	307
8.4. Определение режима резания, обеспечивающего заданное значение высоты неровностей на обработанной поверхности.....	308
8.5. Определение режима резания по заданной величине остаточных напряжений в поверхностном слое материала детали.....	311
8.6. Расчётное определение режимов резания по заданной глубине наклёпа в поверхностном слое материала детали при точении.....	312
8.7. Определение режима резания с учётом комплекса параметров качества поверхностного слоя материала детали.....	314
8.8. Определение режима резания по заданному значению параметров эксплуатационных свойств.....	317
<b>9. АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОБРАБОТКИ.....</b>	<b>320</b>
<b>10. ВЛИЯНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА ПАРАМЕТРЫ КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ.....</b>	<b>328</b>
10.1. Определение угла наклона условной плоскости сдвига и безразмерного комплекса процесса резания $B$ при использовании режущего инструмента с износостойким покрытием.....	328
10.2. Влияние коэффициента трения на передней поверхности режущего инструмента с покрытием на параметры процесса резания.....	331
10.3. Методика расчёта параметров качества материала поверхностного слоя детали при обработке инструментами с покрытиями.....	336
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>347</b>