

Министерство образования и науки Украины  
Донбасская государственная машиностроительная академия  
Кафедра компьютеризованных мехатронных систем, инструментов  
и технологий

**Григорьев Виктор Константинович**

УДК 621.91

**Повышение эффективности обработки на тяжелых токарных станках за счет управления процессом резанья**

Специальность 8.05050302 – инструментальное производство

Автореферат магистерской работы

Краматорск – 2015

Работа выполнена на кафедре: «Компьютеризированные мехатронные системы, инструмент и технологии» Донбасской государственной машиностроительной академии Министерства образования и науки Украины.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Васильченко Яна Васильевна

Защита состоится 28 декабря 2015 года в 12 часов на заседании Государственной экзаменационной комиссии Донбасской государственной машиностроительной академии.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы:** Станкостроение составляет основу тяжелого машиностроения, которое является базой для развития всех основных отраслей народного хозяйства – металлургии, энергетики, железнодорожного транспорта, автомобилей судостроения, строительства портов, нефтехимических заводов, освоения и добычи полезных ископаемых и т.д. Основная группа оборудования машиностроительных предприятий Украины - это токарные станки. На тяжелых токарных станках с числовым программным управлением производится механическая обработка широкой номенклатуры деталей, таких как прокатные валки, роторы турбин, колесные пары железнодорожного и горного транспорта, корабельные гребные валы и многое другое. Поэтому повышение эффективности работы тяжелого токарного оборудования является актуальной задачей.

**Целью данной работы** является повышение эффективности работы тяжелых станков за счет разработки системы адаптивного управления процессом резания.

**Объектом исследования** является процесс резания на тяжелом токарном станке.

**Предметом исследования** является оптимальное управление процессом резания в системе адаптивного управления.

### **Задачи исследования:**

1. Проанализировать существующие методы адаптивного управления станками.
2. Проанализировать условия и режимы обработки деталей тяжелого машиностроения в производственных условиях.
3. Разработать методы и структурные схемы системы оптимального управления скорости подачи по усилию резания
4. Создать модели для оптимального управления процессом резания на тяжелом станке.
5. Разработать систему адаптивного управления тяжелым токарным станком с мехатронными узлами для регулирования скорости подачи.

### **Научная новизна:**

1. Выявлены закономерности эксплуатации тяжелых станков с режимными параметрами.
2. Созданы законы управления процессом резания на тяжелых станках, обеспечивающие максимальную производительность при минимальной себестоимости.
3. Разработана мехатронная система адаптивного регулирования скорости подачи тяжелого токарного станка

### **Практическая ценность:**

1. Произведена оптимизация режимов резания по критерию производительности, определены оптимальные режимы резания.

2. Разработана структурная схема системы оптимального управления скоростью подачи по усилию резания, позволяющая повысить производительность черновой обработки.

3. Разработан мехатронный узел и управляющая программа оптимального регулирования скорости подачи многоцелевого тяжелого станка

#### **Апробация результатов работы.**

Основные результаты работы докладывались и получили положительную оценку на XIII Международной конференции «Тяжелое машиностроение, проблемы и перспективы развития» г. Краматорск 2015г. Студенческая конференция ДГМА. 2015 г.

#### **Публикации.**

Основные результаты магистерской работы опубликованы в сборнике научных трудов «Надежность инструмента и оптимизация технологических систем» - Краматорск: ДГМА, 2015. –Выпуск 37

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы, сформулирована цель и задачи исследования, объект, предмет и методы исследования, научная новизна и практическое значение полученных результатов. Приведен уровень апробации работы, личный вклад соискателя.

**В первом разделе «Аналитический обзор» рассмотрены** особенности условий работы режущего инструмента и режимов резания в тяжелом машиностроении, рассмотрены методы адаптивного управления для оптимизации путем управления точностью и производительностью непосредственно в процессе обработки деталей на тяжелых станках. Рассмотрены показатели оптимальности режимов резания. Критерий оптимальности необходимо выбирать в соответствии с конкретным производственным условиям и обстоятельствам. На это указывается в работах А. А. Маталина, Г. И. Грановского. В работе вводится термин «эксплуатационная ситуация», которая характеризуется условиями, в которых эксплуатируется машина. Влияние производственных обстоятельств на выбор оптимальных режимов резания в условиях массового производства анализировался в работе А. Н. Иноземцева. В работе И. М. Колесова указывается, что «автоматическое управление производственным процессом должно вестись по ситуации, для чего нужны соответствующие техника, информация, алгоритмы ее преобразования и управления».

**Второй раздел.** Рассмотрены методы исследования и моделирования работы тяжелого металлорежущего оборудования, методики сбора статистической информации о деталях, технологических операциях и режимах резания. Создана база знаний про условия обработки крупногабаритных деталей на предприятиях тяжелого машиностроения



Рисунок 1 Распределение деталей базы данных по назначению

**Третий раздел «Создание законов управления адаптивной системы на основе оптимизации режимов резания»** посвящен выводу уравнений технологических ограничений, накладываемых на процесс обработки.

Для анализа математической модели процесса резания с использованием метода линейного программирования необходимо все неравенства технических ограничений и уравнение оценочной функции привести к линейному виду. Сведем неравенства технологических ограничений и уравнений целевой функции в одну систему.

$$\left. \begin{aligned}
 & S \geq S_{cm \min} \\
 & S \leq S_{cm \max} \\
 & n \geq n_{cm \min} \\
 & n \leq n_{cm \max} \\
 & nS^{0.35} \leq \frac{1000(A - kE_{\text{пр}})}{\pi d T^{0.2} t^{0.15} E_{\text{пр}}^z} \\
 & n \geq \frac{318V_{\text{техн}}}{d} \\
 & n^{-0.15} S^{0.75} \leq \frac{102 \cdot 60 \pi^{0.15} d^{0.15} N_H \eta}{1000^{0.15} (A_z + k_z E_{\text{пр}}) t^1} \\
 & n^{-0.15} S^{0.75} \leq \frac{\pi^{0.15} d^{0.15} \sigma_u B H^2}{6 \cdot 1000^{0.15} (A_z + k_z E_{\text{пр}}) t^1 I_{\text{в.п.}} K_{3.п.}} \\
 & n^{-0.15} S^{0.75} \leq \frac{250 \pi^{0.15} d^{0.15} B H^2}{1000^{0.15} I_{\text{в.п.}}^3 (A_z + k_z E_{\text{пр}}) t^1} \\
 & n^{-0.3} S^{0.6} \leq \frac{0.15 \pi^{1.3} d^{0.3} d_{\text{пр}}^4 \Delta (1 - K_{\text{пр}}^4)}{64 \cdot 1000^{0.3} (A_y + k_y E_{\text{пр}}) t^1} \\
 & nS \geq \frac{I_{\text{р.х.}} R}{60 K_3 r_R - T_{\text{в.н}} R} \\
 & S \leq 0.07 \sqrt{R_z \cdot r} \\
 & nS \rightarrow \max
 \end{aligned} \right\} W$$

Математическая модель процесса резания металлов может быть представлена как в аналитическом, так и в графическом виде.

Прямая каждого из неравенств, составляющих систему  $W$ , делит плоскость на две полуплоскости. По одну сторону от прямой расположены значения, удовлетворяющие неравенству, а по другую - не удовлетворяющие. Точки, лежащие на самой прямой, удовлетворяют уравнению. Поэтому эти прямые назовем граничными прямыми. На рис. 1 у каждой прямой стрелкой показано направление решений, удовлетворяющих неравенствам.

Граничные прямые, пересекаясь между собой, образуют многоугольник. Причем часть плоскости, ограниченная этим многоугольником, лежит по одну сторону от каждой граничной прямой, участвующей в его образовании.

Точки плоскости, расположенные внутри многоугольника, удовлетворяют неравенствам всех граничных прямых, участвующих в его образовании. Будем называть его многоугольником возможных решений. Этот многоугольник является выпуклым. Для выпуклого многоугольника можно построить множество таких прямых, что каждая из них имеет по крайней мере одну общую точку с многоугольником и весь многоугольник находится по одну сторону от такой прямой.

Прямые, отвечающие этим требованиям, называются опорными. На рис. 1. прямые функций  $f_{\max}$  и  $f_{\min}$  являются опорными.

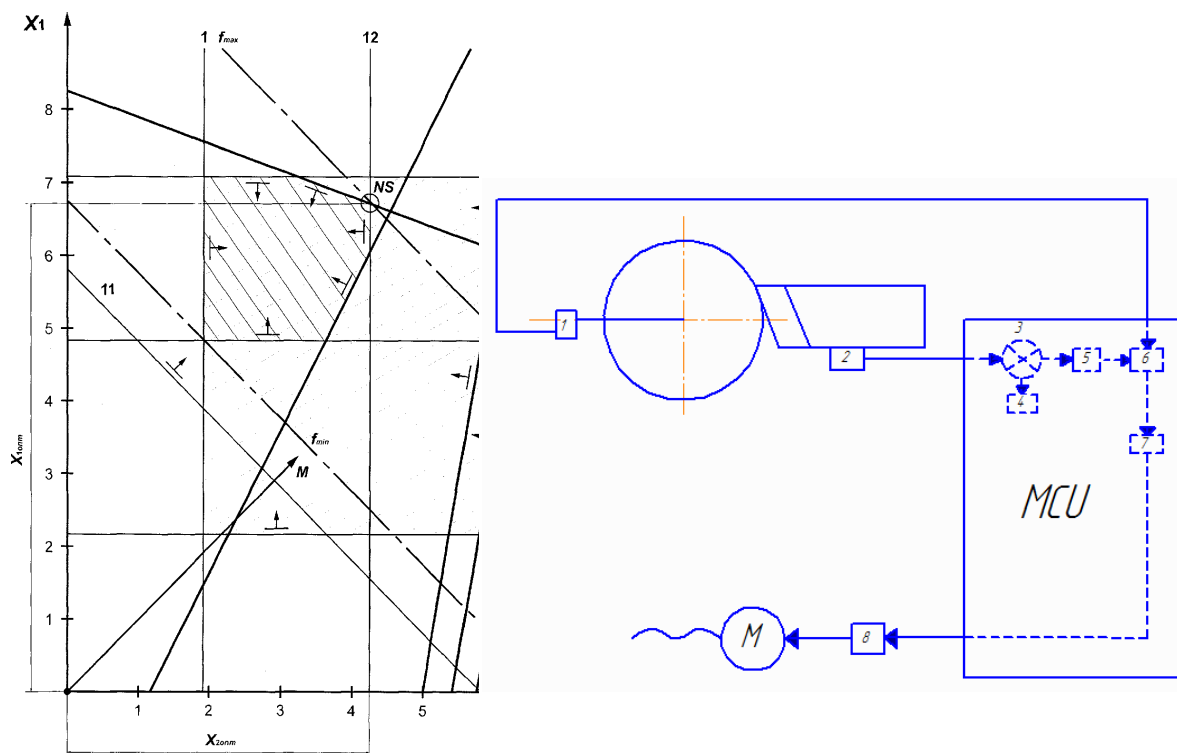


Рис. 1. - Математическая модель оптимального режима резания при токарной обработке.

**Четвертый раздел «Разработка адаптивной системы управления продольной подачи для тяжелого токарного станка»** При назначении оптимальных режимов резания необходимо учитывать множество факторов, связанных с фактическим состоянием заготовки, инструмента и всей технологической системы в целом, что и определяется актуальность разработки адаптивной системы управления скорости подачи тяжелого токарного станка.

Целью данной работы является повышение эффективности работы тяжелых станков за счет разработки системы адаптивного управления процессом резания.

Для управления тяжелым токарным станком с помощью адаптивной системы управления разработана на кафедре «Компьютеризированные мехатронные системы, инструмент и технологии» Донбасской государственной машиностроительной академии структурная схема системы оптимального управления скоростью подачи по усилию резания.

Разработанная схема, предназначенная для автоматического поддержания заданного значения усилия резания при продольном точении на тяжелых токарных станках с целью получения максимальной производительности обработки при исключении перегрузок режущего инструмента.

В представленной работе разработана блок схема системы автоматического регулирования скорости подачи тяжелого токарного станка. Так же создана программа Управляющая программа регулирования скорости подачи тяжелого многоцелевого токарного станка.

Использование систем адаптивного оптимального управления позволит сократить затраты, повысить точность, увеличить срок службы режущего инструмента.

**Раздел 5 «Охрана труда и безопасность при чрезвычайных ситуациях».** В данном разделе произведен анализ вредных и опасных производственных факторов, предложены мероприятия по производственной санитарии, мероприятия по технической безопасности, рассмотрена безопасность при чрезвычайных ситуациях

### **Раздел 6 «Организационно – экономическая часть»**

Таблица 1

Технико-экономические показатели проекта

№	Наименование показателей, обозначение	Размерность	Величина
1	Программа выпуска продукции, $G_{\text{вып}}$	шт.	200 000
2	Потребность в металле, $P_M$	т	600
3	Общая стоимость $\Phi_{\text{общ}}$ ,	Грн	$2,97 \times 10^6$
4	Площадь промышленного здания, $S_{\text{зд}}$	М <sup>2</sup>	688
5	Общая численность работающих, $\Sigma N_{\text{раб}}$	Чел	52
6	С/с-ть 1шт продукции $C_{\text{р.прд}}^{1\text{шт}}$	Грн	46
7	С/стоимость 1т продукции $C_{\text{р.прд}}^{1\text{т}}$	Грн	15170
8	Нормативная прибыль, $P_{\text{норм}}$	%	50
9	Оптовая цена 1шт продукции $C_{\text{опт}}^{1\text{шт}}$	Грн	69
10	Отпускная цена 1шт продукции $C_{\text{отпуск}}^{1\text{шт}}$	Грн	82,8
11	Выручка от реализации продукции $V_{\text{рп}}$	Грн	$13,8 \times 10^6$
11	Валовая прибыль от реализации, $P_{\text{вал}}$	Грн	$4,7 \times 10^6$
12	Чистая прибыль от реализации, $P_{\text{чист}}$	Грн	$3,52 \times 10^6$
13	Рентабельность продукции, $R_{\text{прд}}$	%	38,7
14	Рентабельность производства, $R_{\text{прд}}$	%	77,49
15	Фондоотдача, $\Phi_{\text{от}}$	Грн/грн	2,09



16	Фондовооружённость, <b>Фвоор</b>	Грн/чел	$0,14 \times 10^6$
17	Трудоемкость 1т продукции <b>Тр.вып<sup>1Т</sup></b> ,	н-час/т.	97,06
18	Съем с 1м <sup>2</sup> пр. площади <b>См<sup>2</sup></b>	т/м <sup>2</sup>	0,87
19	Выработка на 1-го работающ., <b>Вгрн/ч</b>	Грн/чел	175037,4
20	Ср.месячная з/п руководителя, <b>Ззп.рук</b>	Грн	3500
21	Ср.месячная з/п специалиста, <b>Ззп.спец</b>	Грн	2600
22	Ср.месячная з/п техн.служащего, <b>Ззп.сл</b>	Грн	1116
23	Ср.месячная з/п вспом. Рабочего, <b>Ззп.всп</b>	Грн	1694
24	Ср.месячная з/п осн. Рабочего, <b>Ззп.осн</b>	Грн	2013,4
25	Окупаемость собственных средств, <b>То.сб</b>	Лет	2,03
26	Окупаемость заемных средств, <b>То.зан</b>	Лет	4

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Существующие методы адаптивного регулирования для тяжелых токарных станков требуют дальнейшего усовершенствования и развития с компенсацией основных возмущающих факторов. Для обеспечения работоспособности современных тяжелых станков с ЧПУ необходима разработка законов управления режимами работы технологической системы.

2. Исследован метод ускоренных испытаний пластин металла, износостойкости и фрикционных свойств инструментальных материалов. Испытание резцов на прочность заключается в определении подачи, достижение которой вызывает разрушение режущей части резца при значениях скорости и глубины резания за время меньше времени работы на ступени.

3. Законы управления адаптивной системой получены на основе оптимизации режимов резания. Критерием оптимальности выбран: показатель производительности. Ограничениями выступают: прочность и жесткость режущего инструмента; точность обработки; мощность электропривода главного движения станках; заданная производительность станка на проектируемой операции; наименьшая скорость резания.

4. Проведена экспериментальная проверка оптимальных параметров процесса резания. Установлены взаимосвязи между режимами резания и параметрами технологической системы. Получены стойкостные зависимости, положенные в основу системы оптимального управления.

5. Критерием оптимальности выбран: показатель производительности. Ограничениями выступают: прочность и жесткость режущего инструмента;

точность обработки; мощность электропривода главного движения станках; заданная производительность станка на проектируемой операции; наименьшая скорость резания.

6. Разработана система адаптивного оптимального управления тяжелым токарным станком на основе использования мехатронных элементов Произведен выбор и обоснование датчиков и двигателя

7. Разработана управляющая программа регулирования скорости подачи многоцелевого тяжелого станка для обеспечения максимальной производительности при черновой обработке с ограничением по прочности инструмента.

## АННОТАЦИЯ

**Григорьев Виктор Константинович: Повышение эффективности обработки на тяжелых токарных станках за счет управления процессом резанья – Рукопись.**

Магистерская работа на получение академической степени магистра по специальности 8.05050302 – инструментальное производство. – Донбасская государственная машиностроительная академия. Краматорск, 2015.

Магистерская работа повышение эффективности работы тяжелых станков за счет разработки системы адаптивного управления процессом резания. В основу работы положена разработка структурная схема системы оптимального управления скорости подачи по усилию резания, позволяющая повысить производительность черновой обработки. Экспериментальные исследования проводились в производственных и лабораторных условиях на реальном технологическом оборудовании. Математическая обработка результатов исследований выполнялась с использованием прикладного программного обеспечения (пакета MathCAD). Разработан мехатронный узел и управляющая программа оптимального регулирования скорости подачи многоцелевого тяжелого станка.

**Ключевые слова:** адаптивная система управления, тяжелый токарный станок, подача, резание, производительность.

## АНОТАЦІЯ

**Григор'єв Віктор Костянтинович: Підвищення ефективності обробки на важких токарних верстатах за рахунок управління процесом різання - Рукопис.**

Магістерська робота на отримання академічного ступеня магістра за спеціальністю 8.05050302 – Інструментальне виробництво. - Донбаська державна машинобудівна академія. Краматорськ, 2015.

Магістерська робота підвищення ефективності роботи важких верстатів за рахунок розробки системи адаптивного управління процесом резання. В основу роботи покладена розробка структурна схема системи оптимального керування швидкості подачі по зусиллю різання, що дозволяє підвищити продуктивність чорнової обробки. Експериментальні дослідження проводилися у виробничих і лабораторних умовах на реальному технологічному обладнанні. Математична обробка результатів досліджень виконувалася з використанням прикладного програмного забезпечення (пакета MathCAD). Розроблено мехатронні вузол і керуюча програма оптимального регулювання швидкості подачі багатоцільового важкого верстата.

**Ключові слова:** адаптивна система управління, важкий токарний верстат, подача, різання, продуктивність.

## ABSTRACT

**Hrihorev Viktor: Improving the efficiency of processing on heavy lathes by managing the process of cutting - Manuscript.**

Master's thesis for a master's degree in an academic specialty 8.05050302 - tool production. - Donbass State Engineering Academy. Kramators'k 2015.

Master's work improving the efficiency of heavy machinery through the development of adaptive management process rezaniya. V study is based on the development of a system block diagram of optimal control the feed rate to the cutting forces, to improve performance roughing. Experimental studies were carried out in industrial and laboratory conditions on a real technological equipment. Mathematical processing of results of studies performed using application software (package MathCAD).

Developed mechatronic unit and the control program of optimal control of the feed rate of multipurpose heavy machine.

**Keywords:** adaptive control system, heavy lathe, feeding, cutting, productivity.