

УДК 621.92

Умеров Э. Д., Ягьяев Э. Э.

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ПРИ СВЕРЛЕНИИ

Аннотация. В статье рассмотрены особенности моделирования поведения технической системы применительно к операции сверления. Предложена функциональная схема операции сверления и выполнена декомпозиция операции сверления. Предложена зависимость состояния выходных переменных от входных переменных и параметров состояния технической системы. Показано влияние изменений параметров состояния технологической системы на выходные переменные операции сверления.

Ключевые слова: операция сверления, системный подход, технологическая система, параметры состояния, входные, выходные переменные.

Умеров Е. Д., Ягьяев Е. Е.

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ ПРИ СВЕРДЛІННІ

Анотація. У статті розглянуто особливості моделювання поведінки технічної систем, що стосуються операції свердління. Запропоновано функціональну схему операції свердління й виконана декомпозиція операції свердління. Запропоновано залежність стану вихідних змінних від вхідних змінних і параметрів стану технічної системи. Показано вплив змін параметрів стану технологічної системи на вихідні змінні операції свердління.

Ключові слова: операція свердління, системний підхід, технологічна система, параметри стану, вхідні, вихідні змінні.

Umerov E. D., Yagyaev E. E.

FEATURES OF MODELING THE BEHAVIOUR OF TECHNICAL CUTTING SYSTEM AT DRILLING

Summary. The article describes the details of modeling the behavior of the technical system in relation to drilling. Functional diagram of drilling is proposed and decomposing of drilling operation is held. In this case, the system is divided into subsystems that have their vectors of input and output variables as well as the state parameters of the subsystem. In addition, each subsystem is interconnected both directly and by feedback. The dependence of the state of output variables from input variables and parameters of the technical system are proposed. The impact of changes of the state of technological system parameters on the output variables of drilling operation is shown. However, these parameters affect the numerical values of the output variables of the technological system.

Key words: drilling operation, system approach, the technological system, the state parameters, input, output variables.

Постановка проблемы. На сегодняшний день с развитием науки и техники имеется весьма большой опыт в области теоретических и экспериментальных исследований, которые нам позволяют создавать математические модели для различных технологических процессов.

Однако полученные таким образом модели не всегда позволяют получить удовлетворяющий нас результат, т. к. не учитываются в полной мере изменения состояния технологической системы. Для решения данной проблемы возможно использование системного подхода [1].

Анализ литературы. Анализ работ, выполненных в области описания процесса сверления, показал, что наиболее пригодными для этого являются теоретические модели, предложенные в работах [2–5], которые при соответствующей доработке позволяют не только учесть многообразие факторов, влияющих на выходные переменные, но и проследить динамику изменения параметров системы.

Цель статьи – рассмотреть особенности моделирования поведения технической системы и определить влияние изменений параметров состояния технологической системы на выходные переменные операции сверления.

Изложение основного материала. Современные системы управления станками позволяют проводить коррекцию в процессе обработки, но для ее осуществления необходима диагностическая информация о текущем состоянии параметров системы и модели, устанавливающих связь входных переменных с выходными и параметрами управления.

Таким образом, применяемые при сверлении методы описания процесса сверления должны быть основаны на использовании системного подхода, позволяющего более полно учесть влияние большинства факторов, влияющих на процесс резания.

Сущность такого подхода состоит в том, что рассматриваемая система разбивается на две части. Первой частью является технологическая система, а второй – окружающая среда. При этом все имеющиеся связи системы разделяются на входные, выходные переменные и параметры состояния технологической системы.

На рис. 1 представлена функциональная схема операции сверления, на которой вектором X обозначены входные, а вектором Y – выходные переменные. Такая система характеризуется совокупностью параметров состояния Z : $Z(t) = (z_1(t), z_2(t), \dots, z_k(t))$, которые могут изменяться в процессе работы системы [1].

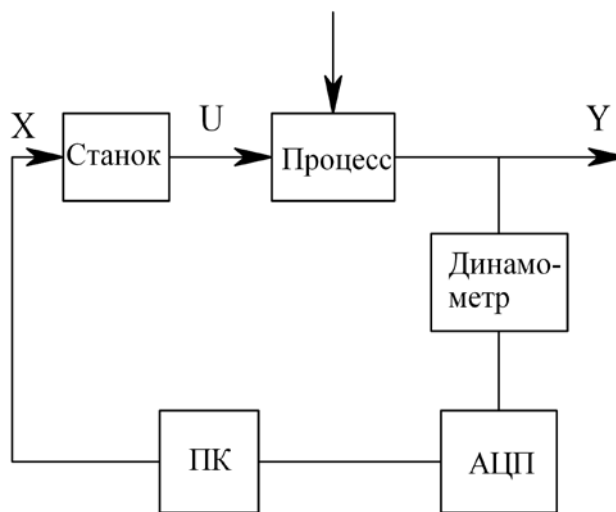


Рис. 1. Функциональная схема.

Для того чтобы определить, в каком объеме изменяются входные переменные X и направление состояния $Z(t)$, влияющие на выходные переменные Y , выполним декомпозицию процесса сверления. При этом рассматриваемая система разбивается на подсистемы и устанавливается связь каждой подсистемы друг с другом и окружающей средой.

В нашем случае процесс сверления разбивается на такие подсистемы: подсистема числового программного управления ЧПУ, подсистема инструмента, подсистема станка, зона контакта, подсистема приспособления, подсистема смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС), заготовка и контрольно-измерительная подсистема. Каждая подсистема имеет свои параметры состояния, входные и выходные переменные и набор других свойств.

Современные станки имеют различные конструктивные особенности и оснащены системой числового программного управления (ЧПУ). В ряде научных работ (например [6; 7]) освещены вопросы входных и выходных переменных различных подсистем, влияющих на ту или иную технологическую операцию.

С учетом этих особенностей нами выделена отдельная подсистема работы с числовым программным управлением. При работе станка изменяются координаты исполнительных элементов, изменяя при этом параметры состояния каждой подсистемы. Затем на входные переменные подсистем инструмента, заготовки и СОТС действуют силы и момент, которые образуют подсистему зоны контакта режущего инструмента с заготовкой.

На рис. 2. представлена декомпозиция на примере операции сверления.

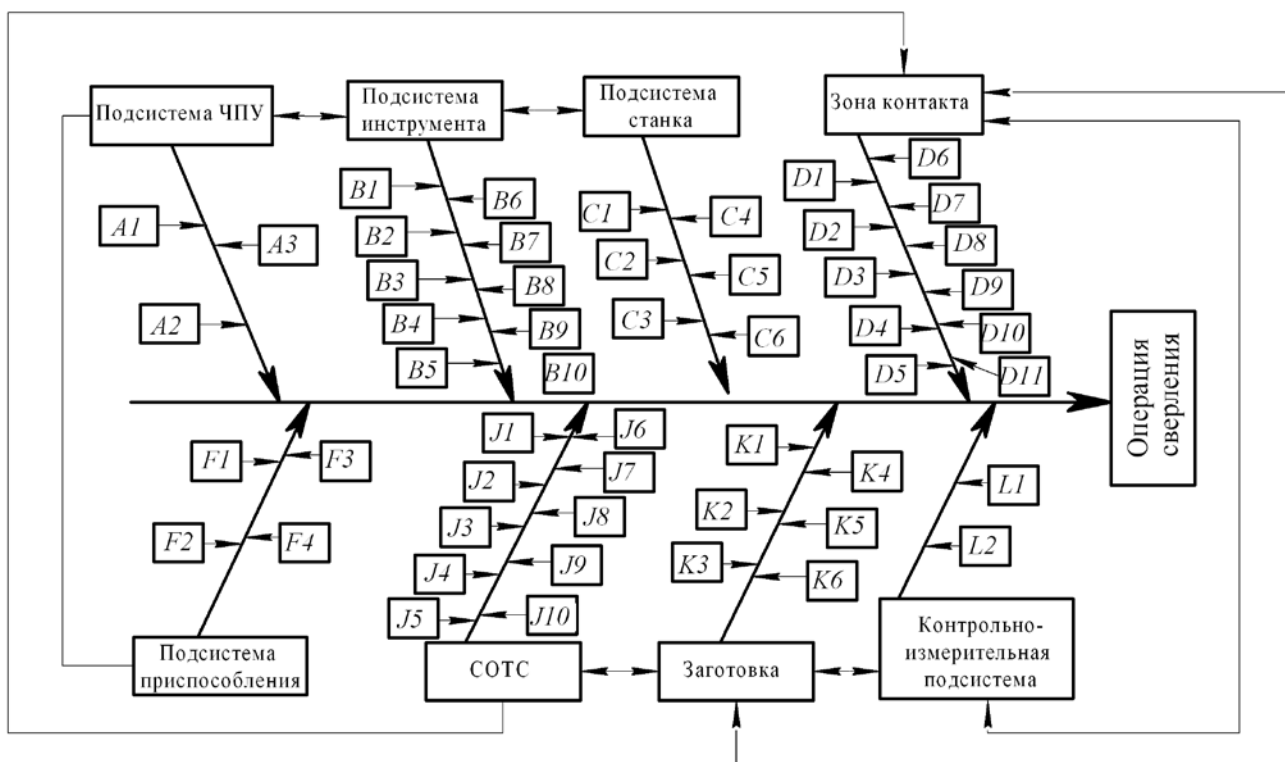


Рис. 2. Декомпозиция операции сверления, причинно-следственная диаграмма Исикавы.

Как каждая система, так и каждая подсистема имеет свои векторы входных и выходных переменных, а также параметры состояния подсистемы. При этом каждая подсистема связана между собой как прямыми, так и обратными связями. На примере процесса обработки на станках с ЧПУ управление подсистемой ЧПУ происходит за счет управляющей программы, которая в свою очередь задает последовательность работы исполнительных механизмов станка.

При этом система ЧПУ контролирует правильность работы программы с помощью контрольно-измерительной подсистемы путем сравнения поступающей от нее информации. Так, при очередной работе станка закрепленная деталь и режущий инструмент изменяют свое пространственное положение, изменяя состояние каждой из подсистем. При этом силы, действующие на приспособления, поступают на вход различных подсистем, например, инструмента, СОТС и т. д.

Таким образом, существуют различные параметры состояния системы, которые влияют в процессе работы на состояние подсистем. Поэтому необходимо иметь информацию для правильного описания состояния технической системы.

С учетом выполненной декомпозиции операции сверления представим зависимость состояния выходных переменных от входных переменных и параметров состояния технической системы:

$$Y(t) = F(X(t); Z(t); U(t)), \quad (1)$$

где $Y(t)$ – вектор выходных переменных при j -м цикле в момент времени t ;
 $X(t)$ – соответствующий вектор входных переменных;
 $Z(t)$ – вектор параметров состояния технологической системы в момент времени t ;
 $U(t)$ – соответствующий вектор управляющих воздействий.

Для случая операции сверления эта зависимость будет иметь вид:

$$Y(t) = (e; W; R_a, P_0, M_{кр}),$$

где e – эксцентриситет;
 W – волнистость;
 R_a – шероховатость поверхности;
 $P_0, M_{кр}$ – силы резания.

Как показывает анализ зависимости (1), изменения входных переменных оказывают влияние на значения выходных переменных и на параметры состояния технологической системы.

В нашей статье рассматривается влияние СОТС различного состава на процесс резания, характеризующийся такими параметрами, как $P_0, M_{кр}, T, R_a$. Состав СОТС относится к входным переменным процесса сверления и оказывает влияние согласно зависимости (1) на выходные переменные процесса сверления.

С учетом анализа литературных источников на основе декомпозиции (рис. 2) в табл. 1 представлены наиболее важные параметры входных переменных, влияющих на состояние выходных переменных.

Таблица 1.

Основные входные переменные, параметры состояния и выходные переменные операции сверления.

Подсистема	Входные переменные, начальные условия	Параметры состояния	Выходные переменные
ЧПУ (A_i)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Управляющая программа. 2. Данные датчиков контрольно-измерительной системы. 3. Оперативная информации от ЭВМ верхнего уровня. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Параметры процессов обработки информации и выработки управляющих сигналов. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Управляющие сигналы на исполнительные механизмы станка. 2. Оперативная информация ЭВМ верхнего уровня.
Станок (B_i), приспособле- ние (F_i)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Начальные технические данные станка и приспособления. 2. Начальные характеристики положения деталей станка. 3. Начальная температура узлов станка. 4. Параметры настройки станка. 5. Силы реакций инструмента. 6. Тепловой поток от заготовки. 7. Реакции СОТС. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Текущие технические данные станка и приспособления. 2. Текущие характеристики пространственного положения узлов и деталей. 3. Скорости и ускорения движения деталей. 4. Силы и реакции в системе станок–приспособление. 5. Текущая температура узлов и деталей. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Пространственное расположение исполнительных механизмов. 2. Движущие силы инструмента. 3. Движущие силы заготовки. 4. Тепловой поток СОТС. 5. Движущие силы СОТС. 6. Тепловой поток в среду. 7. Износ узлов и деталей станка. 8. Расход электроэнергии и материалов.
Инструмент (C_i)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Начальная геометрия рабочей поверхности инструмента. 2. Физико-механические свойства инструмента. 3. Начальная температура. 4. Силы реакции. 5. Скорость износа инструмента. 6. Скорости изнашивания и разрушения режущих кромок. 7. Изменение количества, геометрии и свойств налипающих частичек материала. 8. Тепловой поток из зоны контакта. 9. Химическое и механическое воздействие СОТС. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Координаты положения относительно системы. 2. Скорости и ускорения движения инструмента и режущих кромок. 3. Текущая температура. 4. Текущие размеры, форма инструмента, число, форма, распределение режущих кромок. 5. Физико-механические свойства инструмента. 6. Количество, геометрия и свойства налипающих частичек материала. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Координаты положения относительно заготовки. 2. Скорости движения инструмента и режущих кромок. 3. Размеры, форма инструмента, число, форма, распределение режущих кромок. 4. Физико-механические свойства инструмента. 5. Количество, геометрия и свойства налипающих частичек материала. 6. Тепловой поток в СОТС, станок и среду 7. Силы, действующие от инструмента на заготовку. 8. Силы реакций на станок, приспособление, СОТС, среду.
Заготовка (K_i)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Начальные параметры, геометрия инструмента. 2. Физико-механические свойства обрабатываемого материала. 3. Начальная температура. 4. Силы реакций. 5. Изменения параметров шероховатости, физико-механических свойств поверхностного слоя. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Координаты положения относительно системы. 2. Текущие параметры геометрии, физико-механические свойства обрабатываемого материала. 3. Текущая температура. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Координаты положения относительно инструмента. 2. Размеры, форма обрабатываемой поверхности; размеры, форма, число, распределение единичных царапин. 3. Физико-механическое состояние поверхностного слоя. 4. Силы, действующие от заготовки на инструмент. 5. Силы реакций на станок, тепловой поток в СОТС, станок, среду.

СОТС (J_i)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Начальный состав и свойства СОТС. 2. Начальная температура СОТС. 3. Изменение химического состава СОТС. 4. Формы, число и размеры стружек, частиц абразива. 5. Силы реакций от инструмента. 6. Силы реакций от заготовки. 7. Тепловой поток от инструмента. 8. Тепловой поток от заготовки. 9. Тепловой поток от станка. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Текущие характеристики состава и свойств СОТС. 2. Текущая температура СОТС. 3. Размеры и форма потоков СОТС. 4. Скорости потоков СОТС. 5. Степень загрязненности СОТС. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Охлаждающая, смазывающая и химическое действие СОТС на заготовку, силы реакции на заготовку. 2. Охлаждающая, смазывающая и химическое действие СОТС на инструмент, силы реакции на инструмент. 3. Силы реакции на станок. 4. Тепловой поток в среду. 5. Расход СОТС. 6. Влияние СОТС на процессы зоны контакта.
Зона контакта (D_i)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Пространственное расположение инструмента. 2. Скорости движения режущего инструмента. 3. Размеры, форма инструмента, число, форма, состояния режущих кромок. 4. Физико-механические свойства инструмента. 5. Количество, геометрия и свойства налипающих на инструмент частичек материала. 6. Силы, действующие от инструмента на заготовку. 7. Пространственное расположение заготовки. 8. Размеры, форма обрабатываемой поверхности, размеры, форма, число, распределение единичных царапин. 9. Физико-механические свойства материала поверхностного слоя. 10. Силы, действующие от заготовки на инструмент. 11. Охлаждающее, смазывающее и химическое действие СОТС. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Форма и размеры зоны обработки. 2. Параметры процесса стружкообразования. 3. Реакции обрабатываемый материал, СОТС. 4. Текущие скорости перемещений режущих кромок в обрабатываемом материале. 5. Форма, число и распределение поверхностей резания. 6. Текущие размеры и форма условий границы поверхностей резания. 7. Параметры процессов пластических, упругих, температурных деформаций. 8. Параметры теплового поля. 9. Скорость износа режущего инструмента. 10. Вероятность разрушения инструмента. 11. Форма и размеры скалывающихся частиц режущего инструмента. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Силы реакции на инструмент, заготовку, СОТС. 2. Тепловой поток в инструмент, заготовку, стружку, СОТС, окружающую среду. 3. Скорость износа инструмента. 4. Скорость изнашивания режущих кромок. 5. Изменение геометрии, числа и свойств частичек материала, налипающих на инструмент. 6. Скорость съема материала. 7. Изменение размеров, формы, шероховатости поверхности, физико-механических свойств материала поверхностного слоя заготовки. 8. Изменение химического состава СОТС. 9. Форма и размеры единичных стружек.
Контрольно-измерительная подсистема (L_i)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Значения контролируемых параметров. 2. Параметры состояния окружающей среды. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Пространственное расположение измерительных элементов. 2. Параметры механических и физических процессов измерительной системы. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Информация о значениях контролируемых параметров.

По аналогии такая схема может быть применена и к режущему инструменту. Увеличение износа инструмента приводит к увеличению погрешности обработки, влияющей на качество обработанной поверхности и на силы резания в сторону их увеличения.

Таким образом, возникает систематическая ошибка (погрешность размера), которая может быть устранена за счет системы управления

станка. При этом на процесс сверления будут влиять такие характеристики РИ (сверла), как материал, состояние режущей кромки до и в процессе работы, эксцентриситет сверла, структура и т. д.

В табл. 2 представлено влияние изменений параметров состояния технологической системы по аналогии с работой [8] с учетом операции сверления.

Таблица 2.

Влияние изменений параметров состояния технологической системы на выходные переменные операции сверления.

Подсистема	Вид изменений	Выходные переменные	Влияние на выходную переменную, %
Станок	Точность перемещения исполнительных механизмов	W	100
	Жесткость станка	$P_0, M_{кр}$	40
	Частота вращения шпинделя	R_a	100
Приспособление	Точность закрепления заготовки	W	80
Заготовка	Расположение поверхностей	e	80
	Форма поверхностей	W, e	80
	Материал	$P_0, M_{кр}$	60
Инструмент	Диаметр при износе и состоянии рабочей поверхности отклонения формы режущего инструмента	e, R_a	100
	Твердости	R_a, W	100
	- с покрытием	W	90
	- без покрытия	$P_0, M_{кр}, R_a$	90
СОТС	Величина износа	$P_0, M_{кр}, R_a$	90
	Состав		100
	Основа СОТС		70
	Уровень загрязнения	$R_a, P_0, M_{кр}$	40
	Метод активации		80
Способ подачи		40	
Присадка		80	

Проанализировав табл. 2, можно сказать, что параметры качества обрабатываемых деталей зависят от каждой подсистемы. Например, качество обработанной поверхности (шероховатость, волнистость и т. д.) будут зависеть от износа режущего инструмента, наростообразования, изменения его в диаметре, настройки станка, а также от состава и уровня загрязнения СОТС.

Например, при изготовлении одной партии деталей их твердость может незначительно изменяться, приводя к изменению параметров выходных переменных при сверлении. Твердость каждой партии может быть замерена потребителем специальными приборами, которые имеются на больших предприятиях. Поэтому не каждый потребитель проводит контроль обработанных деталей.

Так, изменения твердости режущего инструмента, даже в незначительной степени, приводит к изменению выходных переменных технической системы, которое носит закономерный характер, проявляющийся в процессе работы.

Таким образом, проведенный нами анализ показывает, что изменение параметров состояния технологической системы влияет на состояние выходных переменных при операции сверления в процессе обработки деталей.

Параметры входных переменных в процессе сверления влияют на численные значения параметров выходных переменных технологической системы.

В дальнейшем планируется изучение влияния различных составов СОТС на такие выходные переменные процесса сверления, как сила резания, крутящий момент, температура, шероховатость, точность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов Ю. Н. Теория технических систем / Ю. Н. Кузнецов, Ю. К. Новоселов, И. В. Луцив. – Севастополь : СевНТУ, 2010. – 251 с.
2. Линчевский П. А. Обработка деталей на отделочно-расточных станках / П. А. Линчевский, Т. Г. Джугурян, А. А. Оргян. – К. : Техника, 2001. – 300 с.

3. Кирсанов С. В. Инструменты для обработки точных отверстий / С. В. Кирсанов, В. А. Гречишников. – М. : Машиностроение, 2003. – 330 с.
4. Линчевский П. А. Расчет износа инструмента на основе динамической модели механической обработки / П. А. Линчевский, С. С. Фотти, В. И. Попов // Известия вузов. Машиностроение. – 1985. – № 2. – С. 122–124.
5. Линчевский П. А. Разработка теории и технологии управления операциями предварительной лезвийной обработки деталей машин с учетом динамической модели предельного износа режущего инструмента / П. А. Линчевский // Сборник трудов отделения тяжелого и транспортного машиностроения Академии инженерных наук Украины. – Днепропетровск, 1996. – С. 52–57.
6. Королев А. В. Теоретико-вероятностные основы абразивной обработки / А. В. Королев, Ю. К. Новоселов. – Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1987. – Часть 1. Состояние рабочей поверхности абразивного инструмента. – 158 с.
7. Островский В. И. Анализ силы резания с целью оптимизации процесса шлифования / В. И. Островский, В. Г. Савицкая // Оптимизация условий эксплуатации и выбора характеристик абразивного инструмента в машиностроении : тез. докл. Всесоюзной конф. – Л., 1981. – С. 48–50.
8. Новоселов Ю. К. Диагностика операций чистового шлифования / Ю. К. Новоселов, Э. Э. Ягьяев // Оптимизация производственных процессов : сб. науч. трудов. – Севастополь : Изд-во СевНТУ, 2007. – Вып. 10. – С. 52–56.