

УДК 621.785.5

DOI: 10.30987/article_5ca303091a5a06.43957690

В.В. Мартынов, д.т.н.,
Е.С. Плешакова, ассистент кафедры
 (ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»,
 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77)
 E-mail: v_martynov@mail.ru

Технология оптимизации процесса эксплуатации режущего инструмента с упрочненной рабочей частью

Представлена технология оптимизации процесса эксплуатации режущего инструмента, рабочая часть которого упрочнена воздействием низкотемпературной плазмы. Основу технологии составляет имитационное моделирование процесса эксплуатации упрочненного инструмента по параметрам дефектов, образовавшихся на рабочей части. Разработанная для этого система моделирования обеспечивает не только получение исходных данных для оптимизации, но и их обработку. По результатам обработки формируется массив средних значений, представляющих собой узловые точки поверхности отклика времени стойкости упрочненного инструмента на значения режимных параметров. После этого производится аппроксимация массива поверхностью, по уравнению которой с помощью метода Хука-Дживса производится поиск глобального максимума.

Ключевые слова: режущий инструмент; упрочненная рабочая часть; процесс эксплуатации; оптимизация; технология.

V.V. Martynov, Dr.Sc.Tech.,
E.S. Pleshakova, Assistant of Dep.
 (FSBEI HE "Gagarin State Technical University of Saratov", 77, Polytechnicheskaya Str, Saratov, 410054)

Operation optimization technology of cutter with strengthened working area

A technology for operation optimization of a cutter having a working area strengthened with the impact of low-temperature plasma is presented. The basis of the technology is a simulation of an operation process of a strengthened tool on parameters of defects arisen on a working area. The modeling system developed for this case ensures not only obtaining initial data for optimization, but their processing. According to the results of processing there is formed a file of average values representing node points of a response time surface of a strengthened tool life to the values of mode parameters. After that a file approximation of by the surface is carried out according to the level of which and with the aid of Hook-Jeeves method a global maximum search is carried out.

Keywords: cutter; strengthened working area; operation process; optimization; technology.

Материалы исследований, выполненных по проблеме повышения эксплуатационной надежности режущего инструмента, упрочненного воздействием низкотемпературной плазмы, позволили разработать компьютерный комплекс для оценивания качества процесса его эксплуатации по параметрам дефектов рабочей части [1]. Основным результатом использования комплекса являются данные о виде и характере дефектов, их местоположении и размерах, а также условиях формирования (полной совокупности эксплуатационных параметров). Эта информация заносится в базу данных комплекса для последующей статистической обработки с использованием как традиционных, так и специальных методов

математической статистики.

Практическая апробация комплекса была проведена на данных опытно-промышленной эксплуатации упрочненного инструмента, оснащенного сменными многогранными пластинами из вольфрамо- и титановольфрамо-кобальтовых твердых сплавов с защитными покрытиями TiN и AlTiN, и без него [2, 3].

Результаты обработки данных показали, что упрочнение приводит к повышению стойкости инструмента: в среднем, у пластин из вольфрамокобальтовых сплавов оно составило 2 раза, у титановольфрамо-кобальтовых сплавов – 2,3 раза. Вместе с тем было установлено, что имеет место разброс значений времени стойкости как внутри каждого сплава, так и

между сплавами. Это связано с тем, что значения определяются не столько процессами старения и износа пластин, сколько процессами образования и развития дефектов, которые в ряде случаев приводили к возникновению внезапных отказов, проявлявшихся в виде сколов. С методологической точки зрения этот результат означает, что для дальнейшего повышения времени стойкости упрочненного инструмента необходимо оптимизировать процесс его эксплуатации.

В основу разработки подхода к оптимизации было положено имитационное моделирование данных, полученных в процессе эксплуатации упрочненного инструмента [4]. Разработанная для этого система моделирования (рис.1), организована как модульная (содержит модель, обслуживающие ее программы, базы данных и знаний, а также генератор псевдослучайных чисел) [5] и обеспечивает не только получение информации, но и ее анализ.

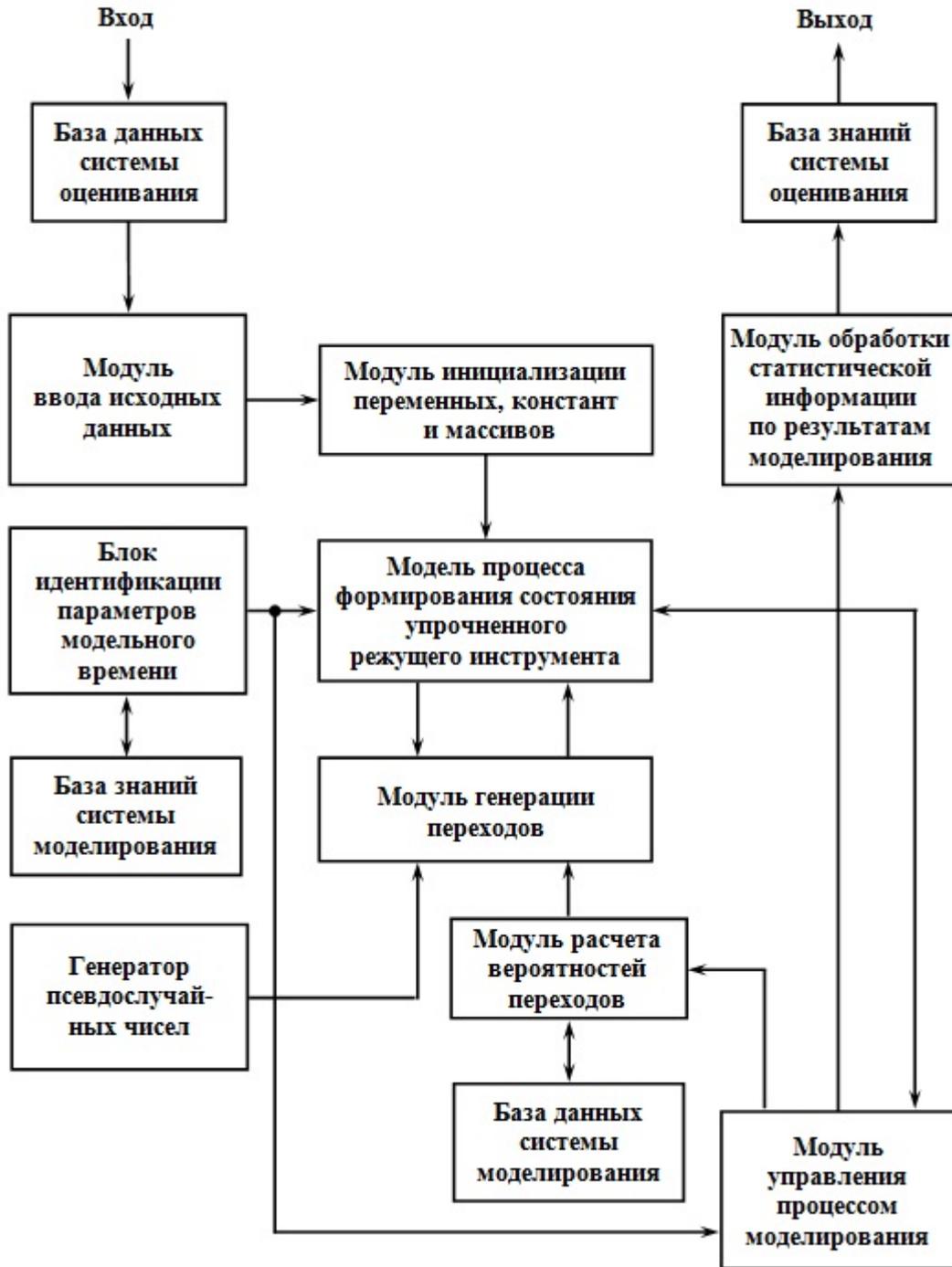


Рис. 1. Состав системы имитационного моделирования

Укрупненный алгоритм функционирования системы представлен на рис. 2. Необходимые для работы исходные данные задаются пользователем (параметры технологического режима, вид и зернистая структура обрабатываемого материала, дефекты и время работы

инструмента, количество реализаций процедуры моделирования) и считываются из базы данных системы (параметры дефектов и факторов, параметры степени влияния факторов), размещенной на внешнем носителе.

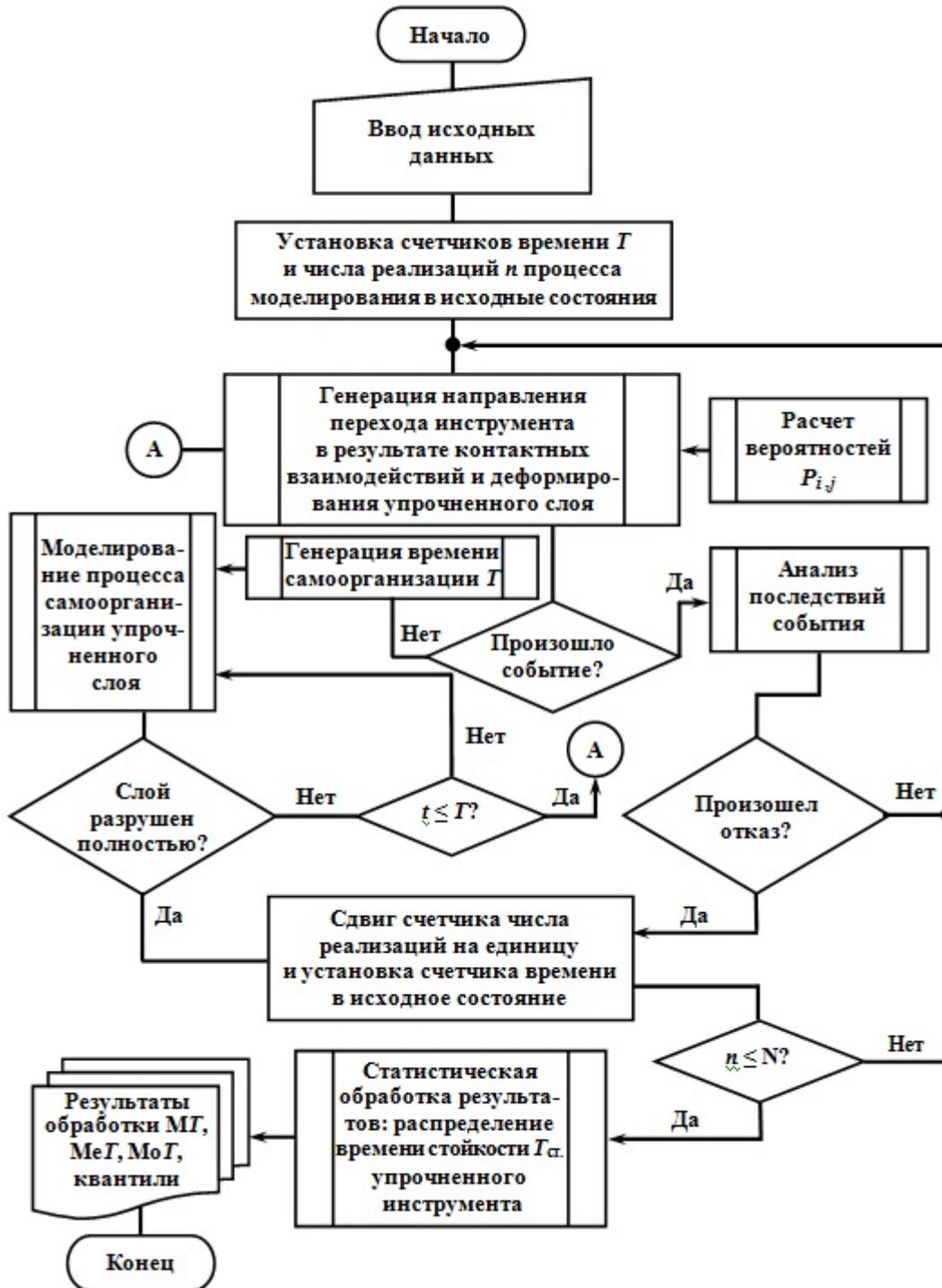


Рис. 2. Укрупненный алгоритм моделирования процесса эксплуатации режущего инструмента с упрочненной рабочей частью:

MT , MeT , MoT – математическое ожидание, медиана и мода времени стойкости; t – текущее время соответственно; P_{ij} – параметры модели (вероятности переходов инструмента между состояниями)

Основным блоком системы является блок анализа событий, связанных с возникновением новых или развитием уже возникших дефектов. Для проведения анализа осуществляется запуск соответствующих программ, и по результатам анализа событий с использованием базы знаний системы производится пересчет параметров модели.

После выполнения программ обработки событий осуществляется продвижение модельного времени: определяется продолжительность очередного цикла формирования состояния инструмента на основе самоорганизации упрочненного слоя.

Процесс имитации продолжается до наступления событий, связанных с попаданием инструмента в поглощающие состояния модели, означающие возникновение либо параметрического (при полном сходе упрочненного слоя), либо функционального (при появлении и/или развитии соответствующих дефектов) отказа.

Результаты моделирования (данные о времени стойкости) оформляются в виде файла и подвергаются статистической обработке. Основная цель обработки заключается в получении информации о закономерностях изменения состояния инструмента в виде законов распределения времени стойкости и вычисления его вероятностных характеристик.

Применительно к задаче оптимизации процесса эксплуатации упрочненного инструмента разработанная технология и реализующий ее алгоритм (рис. 3) предполагают на первом этапе использование системы для моделирования данных процесса эксплуатации упрочненного инструмента на различных сочетаниях значений параметров технологического режима: частоты вращения n и подачи S . Основным вопросом, который при этом необходимо решить, связан с определением совокупности дефектов, используемых в качестве исходных данных.

По сути, эта совокупность является аналогом ограничений, накладываемых на процедуру оптимизации. На принципиальном уровне для ее определения можно использовать два подхода. Первый подход заключается в том, чтобы для каждого сочетания параметров использовать ту совокупность, которая имеется в базе данных компьютерного комплекса и, таким образом, отражает индивидуальные особенности соответствующего технологического режима. Второй подход предполагает использование совокупности, которая встречается во всех сочетаниях, т.е. является наи-

более вероятной и, соответственно, отражает общие закономерности качества процесса эксплуатации инструмента.

Результатом работы алгоритма становится формирование массивов значений наработок до отказа T_0 и после идентификации их распределений – вычисление любой из вероятностных характеристик, например, среднего, значения которого $T_0^{cp}(n_i, S_j)$ становятся узловыми точками поверхности отклика времени стойкости на режим эксплуатации инструмента.

На втором этапе производится аппроксимация двумерного массива $T_0^{cp}(n_i, S_j)$ выражением $T_0^{cp} = f(n, S)$. С этой целью можно использовать различные программные приложения Microsoft Office, например, DataFit 9.0, которое позволяет не только строить поверхности по дискретным данным, но и находить их уравнения.

На третьем этапе реализуется собственно процедура оптимизации значений параметров n и S как классический поиск экстремума на построенной поверхности, за который принимается максимальная наработка упрочненного инструмента до отказа, т.е. стратегия поиска формулируется следующим образом:

$$T_0^{cp} = f(n, S) \rightarrow \max. \quad (1)$$

В настоящее время существует большое число методов оптимизации, каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки, однако, целесообразным является использование метода, который позволяет эффективно отыскивать глобальный максимум функции (1). Одним из таких методов является метод Хука–Дживса [6], суть которого состоит в комбинации исследующего поиска и ускоряющегося поиска по образцу.

Исследующий поиск начинается с некоторым шагом из точки, которая соответствует начальным значениям оптимизируемых параметров. После перебора всех параметров с целью определения точки, в которой будет достигнуто комплексное увеличение значения функции (1), исследующий поиск завершается, а полученная при этом точка принимается за базовую.

Поиск по образцу заключается в реализации единственного шага из полученной базовой точки вдоль прямой, соединяющей ее с предыдущей базовой точкой. Новая базовая точка определяется в соответствии с формулой

$$x_p^{(k+1)} = x^{(k)} + (x^{(k)} - x^{(k-1)}). \quad (2)$$

Если при движении по образцу значение функции (1) начинает уменьшаться, то эта точка фиксируется в качестве временной базовой и в ее окрестности производится исследующий поиск. В случае положительного результата, она принимается за новую базовую, в случае отрицательного осуществляется возврат в точку $x^{(k)}$ и исследующий поиск повторяется вновь. Если и здесь результат

будет отрицательным, производится уменьшение шага и процедура оптимизации повторяется. Поиск завершается, когда шаг становится меньше некоторой наперед заданной величины. Соответствующие, найденному T_0 , значения n и S и будут являться оптимальными.

В качестве иллюстрации на рис. 4 представлен пример результатов работы алгоритма.

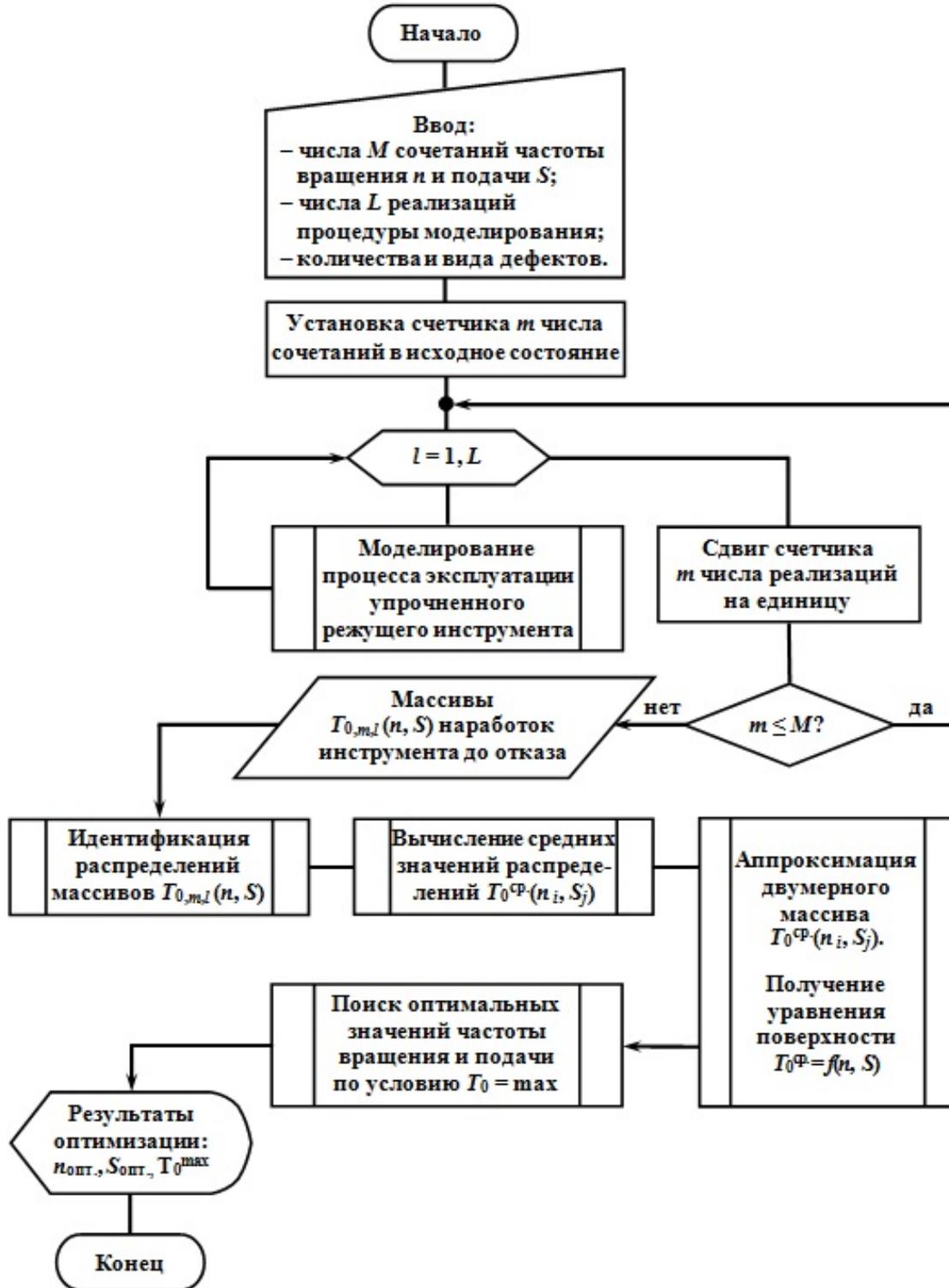


Рис. 3. Алгоритм оптимизации процесса эксплуатации режущего инструмента с упрочненной рабочей частью

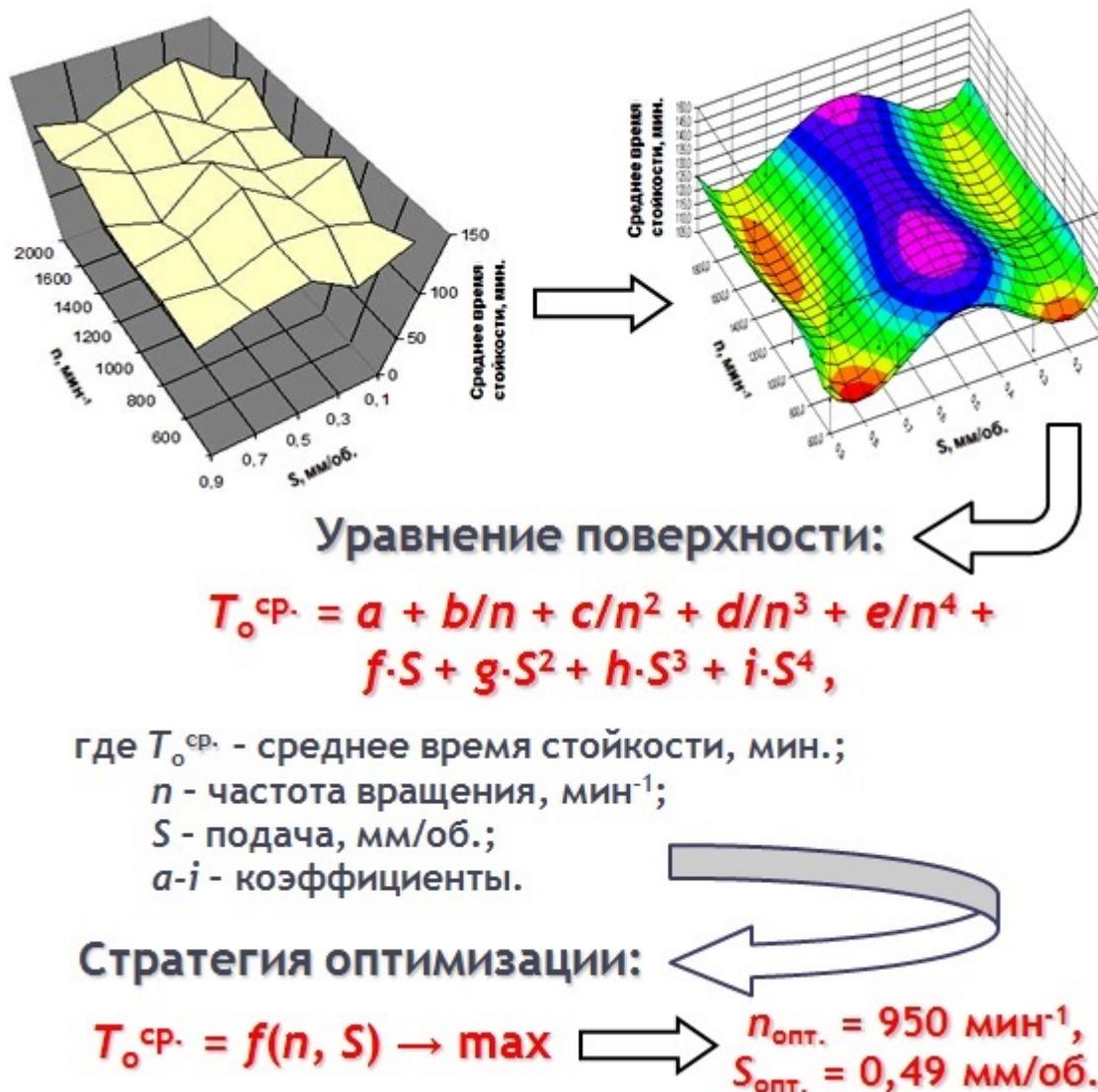


Рис. 4. Пример работы алгоритма оптимизации

Практическое использование разработанной технологии позволяет прогнозировать дальнейшее повышение стойкости инструмента, оснащенного упрочненными пластинами из представленных в статье твердых сплавов, в 1,5...1,6 раза.

Выводы:

– на примере инструмента, оснащенного сменными многогранными пластинами из различных твердых сплавов, показано, что его упрочнение воздействием низкотемпературной плазмы обеспечивает повышение стойкости;

– разработана технология оптимизации, основанная на имитационном моделировании процесса эксплуатации упрочненного инструмента по параметрам дефектов, образовавшихся на его рабочей части. Результаты моделирования становятся исходными данными

для поиска значений частоты вращения и подачи, работа на которых обеспечивает дальнейшее повышение стойкости инструмента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бржозовский, Б.М., Зинина, Е.П., Мартынов, В.В., Плешакова, Е.С. Автоматизированное оценивание состояния модифицированного режущего инструмента по параметрам дефектов рабочей части // Автоматизация и современные технологии. – 2014. – №4. – С. 7-12.
2. Бржозовский, Б.М., Зинина, Е.П., Мартынов, В.В., Плешакова, Е.С. Сравнительный анализ характеристик твердости инструментальных материалов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2014. – №3. – С. 3-7.
3. Бржозовский, Б.М., Зинина, Е.П., Мартынов, В.В. Технологии улучшения поверхностных свойств геометрически сложных изделий воздействием низкотемпературной плазмы // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2017. – №8(74). – С. 24-29.
4. Мартынов, В.В., Плешакова, Е.С. Технология оце-

нивания качества процесса эксплуатации инструмента с упроченной рабочей частью // *Научно-технические технологии в машиностроении*. – 2019. – №4(94). – С. 7-12.

5. **Свидетельство** о государственной регистрации программы для ЭВМ №2015617335. Программа имитационного моделирования процесса формирования состояния модифицированного металлорежущего инструмента / В.В. Мартынов, Е.С. Плешакова. Заявка №2015617134. Дата поступления 03.08.2015. Дата регистрации 29.09.2015.

6. **Банди, Б.** Методы оптимизации; пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1988. – 128 с.

REFERENCES

1. Brzhozovsky, B.M., Zinina, E.P., Martynov, V.V., Pleshakova, E.S. Automated assessment of modified cutter state by parameters of working area defects // *Automation and Modern Technologies*. 2014. – No.4. – pp. 7-12.

2. Brzhozovsky, B.M., Zinina, E.P., Martynov, V.V., Pleshakova, E.S. Comparative analysis of tool material hardness

properties // *Strengthening Technologies and Coatings*. – 2014. – No.3. – pp. 3-7.

3. Brzhozovsky, B.M., Zinina, E.P., Martynov, V.V. Surface properties improvement technologies of geometrically complex produce by impact of low-temperature plasma // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2017. – No.8(74). – pp. 24-29.

4. Martynov, V.V., Pleshakova, E.S. Quality assessment technology of operation process of tools with strengthened working area // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2019. – No.4(94). – pp. 7-12.

5. Certificate of state registration of computer program No.2015617335. *Simulation Program of Updated Cutter State Formation* / V.V. Martynov, E.S. Pleshakova. Application No.2015617134. Application date: 03.08.2015. Registration date: 29.09.2015.

6. Bandy, B. Optimization Methods; transl. from Engl. – M.: Radio and Communications, 1988. – pp. 128.

Рецензент д.т.н. Н.В. Бекренёв

УДК 621.9

DOI: 10.30987/article_5ca30309760391.41717280

В.А. Спири́н, к.т.н., **В.Ф. Мака́ров**, д.т.н., **О.А. Халту́рин**, старший преподаватель
(Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 15)
E-mail: makarovv@pstu.ru ; oleg-x@pstu.ru

Глобoidное зубохонингование эвольвентных профилей

В статье рассмотрены технологические возможности глобoidного зубохонингования. С этой целью используются комплексные измерения для эвольвентных зубчатых передач. Решена задача по расчётному определению погрешностей глобoidного зубохонингования в зависимости от условий обработки и параметров установки хона. Результаты представлены в виде профилограмм отклонений действительных параметров эвольвенты от теоретических (расчётных параметров).

Ключевые слова: глобoidный хон; параметры установки; абразивный слой; профилирование.

V.A. Spirin, Can.Sc. Tech., **V.F. Makarov**, Dr.Sc.Tech., **O.A. Khalturin**, Senior lecturer
(Perm National Research Polytechnic University, 15, Academician Korolyov Str., Perm, 614013)

Involute profile globoidal gear honing

In the paper technological potentialities of globoidal gear honing are considered. With this purpose there are used complex measurements for involute gearings. A problem on a design definition of globoidal gear honing errors depending on machining conditions and parameters of a hone installation is solved. The results are presented as Talysond traces of actual parameter deviations of the involute from theoretical ones (design parameters).

Keywords: globoidal hone; plant parameters; abrasive layer; profiling.

Введение

Отделочная обработка зубчатых профилей методом глобoidного зубохонингования используется для обработки рабочих поверхно-

стей роторов винтовых забойных двигателей любых типоразмеров. Однако точные измерения циклоидообразных профилей в производственных условиях выполнить практически невозможно. Для оценки технологических