

МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ОДНОШНЕКОВОГО ЭКСТРУДЕРА НА ОСНОВЕ АДАПТИВНЫХ МЕТОДОВ ПОИСКА

В статье описано применение генетического алгоритма для выбора геометрических и конструктивных параметров экструдера. Разработанное программное средство дает возможность проводить многопараметрическую оптимизацию, позволяющую «улучшить» технико-экономические показатели технологического процесса.

Ключевые слова: проектирование экструзионной техники, генетический алгоритм, модуль оптимизации, модуль имитационного моделирования, программная система.

Экструзия – это способ переработки материалов непрерывным продавливанием их расплава через формующую головку, геометрическая форма выходного канала которой определяет профиль получаемого изделия или полуфабриката.

Экструзионные технологические процессы широко используются в различных отраслях: пищевой, химической, резинотехнической, силикатной, бумажной, металлургической, а также в АПК и оборонной промышленности.

Основным оборудованием экструзионного процесса является червячный экструдер, оснащенный формующей головкой. В экструдере обрабатываемый материал расплавляется, пластифицируется и затем нагнетается в головку [1].

Конструкция шнекового экструдера включает следующие основные узлы: рабочая пара (шнек и корпус), загрузочное устройство, матрица с фильерами (рисунок 1).

Помимо конструктивных и геометрических параметров экструдера на качество получаемого продукта оказывают влияние реологические свойства обрабатываемого материала и скорость вращения шнека.

К технологическим параметрам относятся температура переработки материала, давление расплава, температура зон головки и температурные режимы охлаждения сформованного экструдата.

Для достижения требуемых технологических, технико-экономических показателей экструдирования, а также выполнение требований к качеству готовой продукции необходимо оптимальное соотношения геометрических, конструктивных, кинематических и реологических параметров [2].

В настоящее время в процессе проектирования объектов машиностроения необходимо постоянно принимать непростые решения, связанные с учетом многих критериев и факторов,

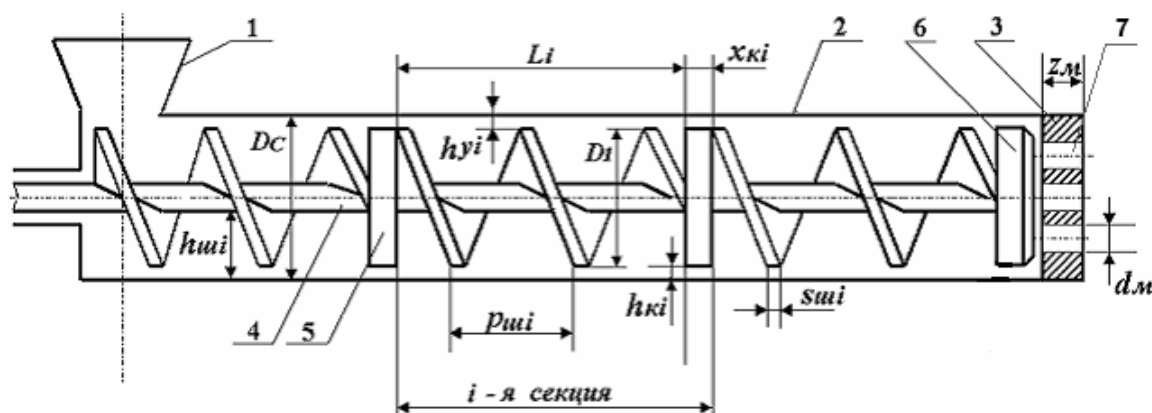


Рисунок 1. Схема прессующего механизма: 1– загрузочное устройство; 2– шнековый цилиндр; 3– матрица; 4– шнек; 5– компрессионный затвор; 6– головка экструдера; 7– фильера.

их невозможно принимать только с использованием интуиции и опыта руководителя проекта. Достаточно сложно и трудоемко перебрать все возможные варианты и сделать оптимальный выбор. Задача построения сложных систем, как правило, является многокритериальной. Причем критерии зачастую противоречивы. Одна из основных проблем постановки многокритериальных задач – установление правил предпочтения вариантов. Универсальных алгоритмов по нахождению оптимального решения не существует. Каждый метод оптимизации имеет свои минусы и плюсы, при этом одни методы хороши для одних задач, а другие – для других. Поэтому выбор того или иного алгоритма оптимизации для решения поставленной задачи непосредственно влияет на ее результат [3].

Для решения задач многопараметрической оптимизации сложных систем в последнее время часто используются адаптивные методы поиска. Представителями таких методов являются генетические алгоритмы (ГА).

Генетический алгоритм (ГА) – это эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путём случайного подбора, комбинирования и вариации искоемых параметров с использованием механизмов, напоминающих биологическую эволюцию.

ГА в различных формах применились ко многим научным и техническим проблемам. В системах искусственного интеллекта они использовались при проектировании нейронных сетей или управлении роботами. Они также применялись при моделировании развития в различных предметных областях, включая биологические (экология, иммунология и популяционная генетика), социальные (такие как экономика и политические системы) и когнитивные системы. ГА является достаточно мощным средством и может с успехом применяться для широкого класса прикладных задач, включая те, которые трудно, а иногда и вовсе невозможно, решить другими методами.

Однако, ГА, как и другие методы эволюционных вычислений, не гарантирует обнаружения глобального решения за полиномиальное время. ГА не гарантируют и того, что глобальное решение будет найдено, но они хороши для поиска «достаточно хорошего» решения задачи

«достаточно быстро». Там, где задача может быть решена специальными методами, почти всегда такие методы будут эффективнее ГА и в быстрой реакции и в точности найденных решений. Главным же преимуществом ГА является то, что они могут применяться даже на сложных задачах, там, где не существует никаких специальных методов. Даже там, где хорошо работают существующие методики, можно достигнуть улучшения сочетанием их с ГА [4].

Работа генетического алгоритма представляет собой итерационный процесс, который продолжается до тех пор, пока не выполняется заданное число поколений или какой-либо иной критерий останова. Обобщенная блок-схема работы ГА изображена на рисунке 2.

Генетический алгоритм работает с некоторой целевой функцией $Q(u_1, u_2, \dots, u_n)$ и в результате находит либо ее максимум, либо минимум (в зависимости от задачи). Алгоритм оперирует набором параметров u_1, u_2, \dots, u_n и находит такое решение, при котором достигается оптимальное значение функции Q . Для организации работы алгоритма не требуется нахождения производной от функции Q и других вычислений, которые подразумевают наличие какой-либо алгебраической функции. Т.е. генетический алгоритм может работать не только с целевой функцией, но и с каким-либо блоком (набором некоторых действий, операций и вычислений), который на вход получает некоторый набор значений u_1, u_2, \dots, u_n , а на выходе выдает результат, напрямую зависящий от входящих значений.

Система одношнекового прессующего механизма сложная из-за непростого взаимодействия звеньев механизма с обрабатываемым материалом. Система уравнения движения прессуемого материала допускает приближенную декомпозицию по зонам рабочего пространства, в которых различные граничные условия прессующего механизма определяют внутреннюю характеристику системы, основные параметры процесса и их связь с конструктивными параметрами механизма и реологическими характеристиками материала. Всевозможные граничные условия необходимо учитывать и на этапе оптимизации конструкции.

ГА, включающий возможность задать различные критерии отбора, позволит учитывать данные граничные условия параметров, необ-

ходимые для успешного протекания процесса экструдирования и для соответствия найденных показателей процесса, требуемым значениям.

Таким образом, ГА является наиболее удобным методом при реализации подсистемы поддержки принятия решения для выбора оптимального набора параметров экструдера и процесса экструдирования.

Необходимо также отметить, что применение в качестве алгоритма оптимизации точных математических методов оптимизации, обеспечивающих нахождение оптимального решения, не всегда целесообразно, поскольку имитационная модель является копией реальной системы с некоторой степенью точности. При этом использование точных методов, как правило, требует значительных вычислительных затрат, что во многих случаях является критичным или вовсе недопустимо. Поэтому в качестве алгоритма поисковой оптимизации целесообразнее использовать метод, который не обязательно гарантирует достижение точного оптимума, а находит решения, близкие к оптимальным, и при этом обеспечивает быструю поисковую сходимости алгоритма [5].

Модуль выбора оптимальной конструкции экструдера базируется на взаимодействии двух подсистем: модуля оптимизации и модуля имитационного моделирования (ИМ).

Схема взаимодействия этих модулей приведена на рисунке 3.

Модуль имитационного моделирования процесса экструдирования реализован в программной системе «Расчет технико-экономических параметров одношнековых экструдеров» [6].

Оптимизация на основе имитационного моделирования заключается в совместном использовании имитационной модели процесса проектирования и алгоритма оптимизации. С помощью ИМ рассчитываются значения отклика для различных комбинаций значений факторов,

которые предлагает алгоритм оптимизации. Поисковый алгоритм оптимизации, в свою очередь, используя значения отклика, пытается улучшить решение.

Данные процессы взаимодействуют между собой при помощи базы данных. В ней содержится не только информация о шаблонах конструкций, реологических параметрах и результатах моделирования, а также полная хронология производимых действий.

На рисунке 4 приведена блок-схема, реализованного алгоритма оптимизации параметров

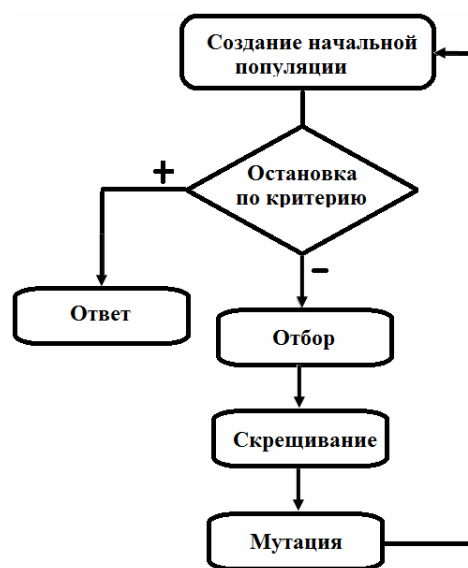


Рисунок 2. Обобщенная схема генетического алгоритма

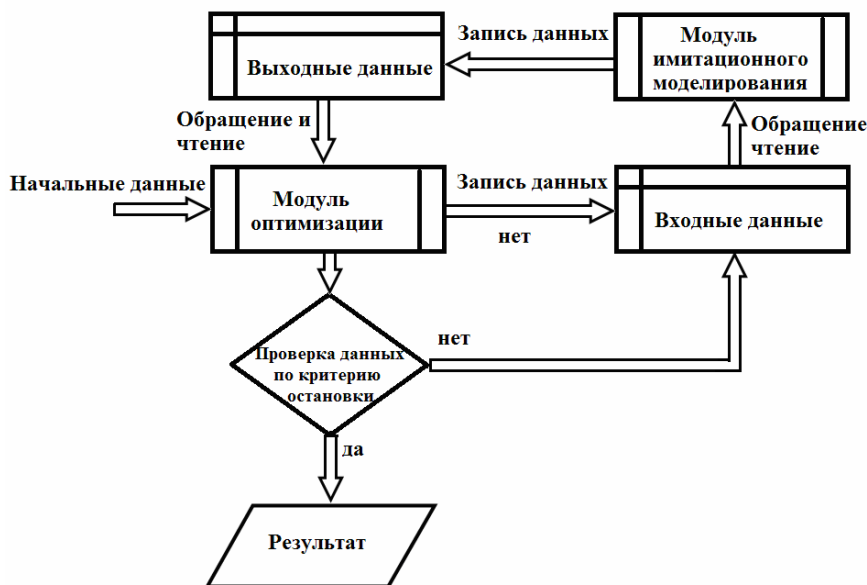


Рисунок 3. Схема взаимодействия модулей

процесса экструдирования.

Особую значимость приобретает создание начальной популяции. От выбора исходных данных зависит скорость сходимости метода и место локального максимума. Зачастую данный выбор производится случайным образом, однако в данном случае рационально использовать полученные ранее результаты, которые содержатся в базе данных.

Для отбора наиболее «лучших» групп значений параметров будем использовать экспертный метод – метод Мамдани. В нём используется минимаксная композиция нечётких множеств:

$$MF = \max \left(\min(A_{ik}(x_k)) \right),$$

где x_k – входные переменные; A_{ik} – заданные нечеткие множества с функциями принадлежности.

Он позволит сформировать начальную популяцию, значения которой наиболее близ-

ки к требуемым условиям [7].

Процедуры скрещивания, мутации, оценки приспособленности, выбора лучшего решения повторяются в цикле до тех пор, пока не сработает критерий останова. В качестве такого критерия используется выполнение некоторого условия. Суть условия заключается в следующем: если разница между лучшими решениями на данный момент и на предыдущей итерации незначительна (меньше некоторого заданного ϵ), или выполнено максимальное количество итераций (количество выполненных итераций больше некоторого заданного n), то алгоритм останавливает свою работу. Последнее найденное лучшее решение и является оптимальным набором параметров. На основе разработанного алгоритма был создан модуль «улучшения параметров» процесса экструдирования, который был внедрен в программную систему (ПС) «Расчет технико-экономических параметров одношнековых экструдеров» [6]. Данный модуль позволит на основе введенных граничных условий и целей оптимизации проводить поиск конструктивных параметров экструдера (диаметр шнека, осевой шаг винтовой полости, осевая протяженность и др.), при которых будут достигаться требуемые показатели процесса экструдирования: кпд, производительность, энергоёмкость, время прессования, импульсы нормальных и касательных напряжений.

На рисунке 5 представлено главное меню ПС.

До начала процесса «улучшения конструкции» необходимо выбрать обрабатываемый материал и задать реологические параметры. Для этого необходимо перейти в подпункт меню «Реологические параметры» (рисунок 6).

После выбора материала, его реологические показатели загружаются из базы данных. Также необходимо задать скорость вращения шнека. Затем возможно осуществить оптимизацию конструкции.

Перейдя по пункту меню «Улучшить кон-

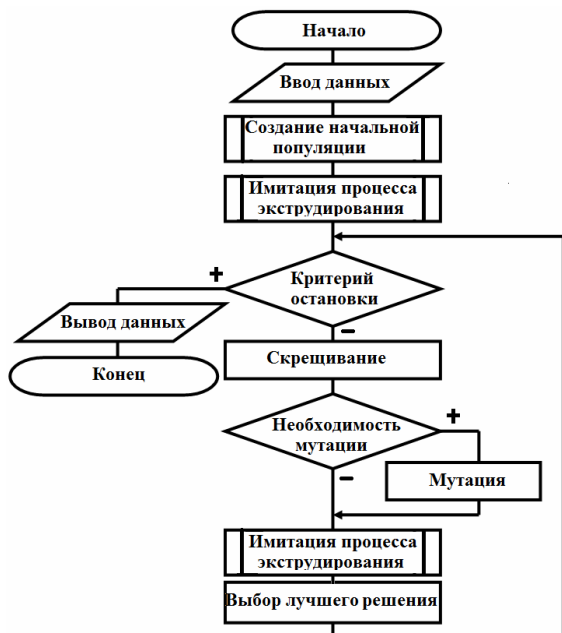


Рисунок 4. Блок-схема процесса оптимизации параметров

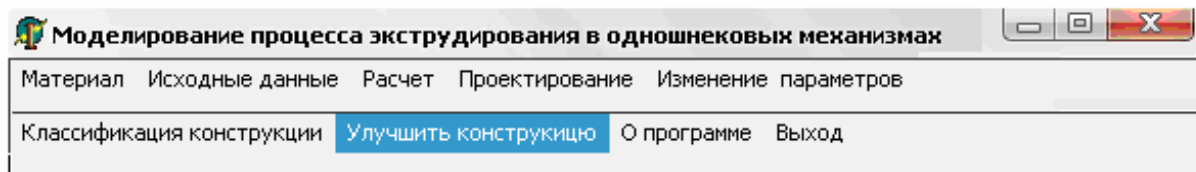


Рисунок 5. Меню ПС

струкцию», открывается окно «Улучшение параметров процесса экструдирования». При нажатии на кнопку «Загрузка с базы» в ПС загружаются данные, сохраненные в результате предыдущих экспериментов (рисунок 7).

Следующим шагом является задание граничных условий. Для этого необходимо перейти по кнопке «Условия селекции значений». При формировании условия выбирается целевой параметр, условие требуемой селекции («ра-

вен», «находится в интервале», «является максимумом», «является минимумом» и т. д.) и граничные значения для данного параметра (рисунок 8).

Указав необходимые правила выбора, при нажатии на «Выполнить выборку значений» осуществляется подбор наиболее подходящих строк по методу Мамдани.

Результат работы выборки представлен на рисунке 9.

В таблице «Матрица начальной выборки» выводятся показатели, полученные при реализации алгоритма. Данные группы значений (диаметр шнека, осевой шаг винтовой полости, осевая протяженность и др.) имеют наиболее близкие параметры, удовлетворяющие

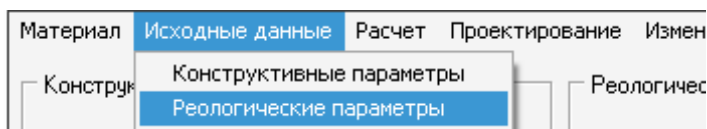


Рисунок 6. Реологические параметры

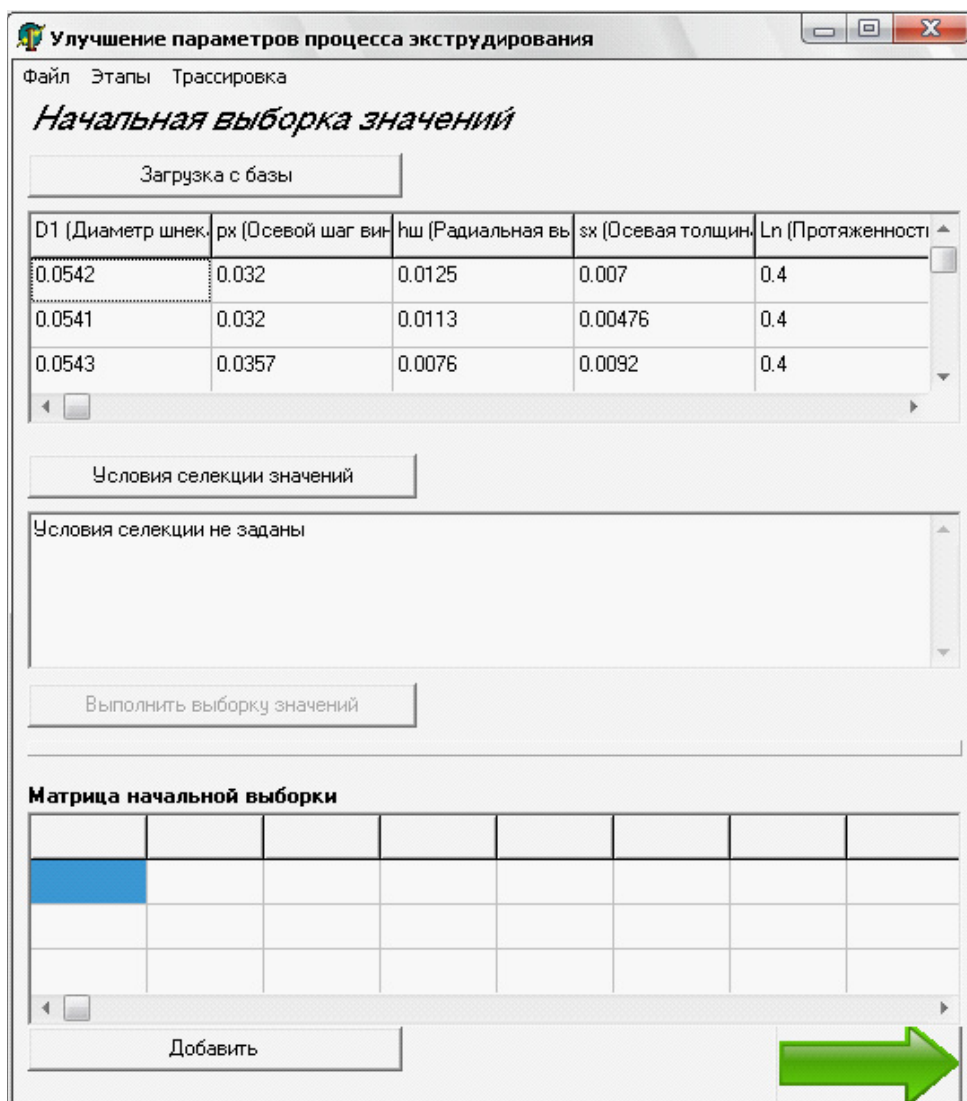


Рисунок 7. Начальная выборка значений в ПС

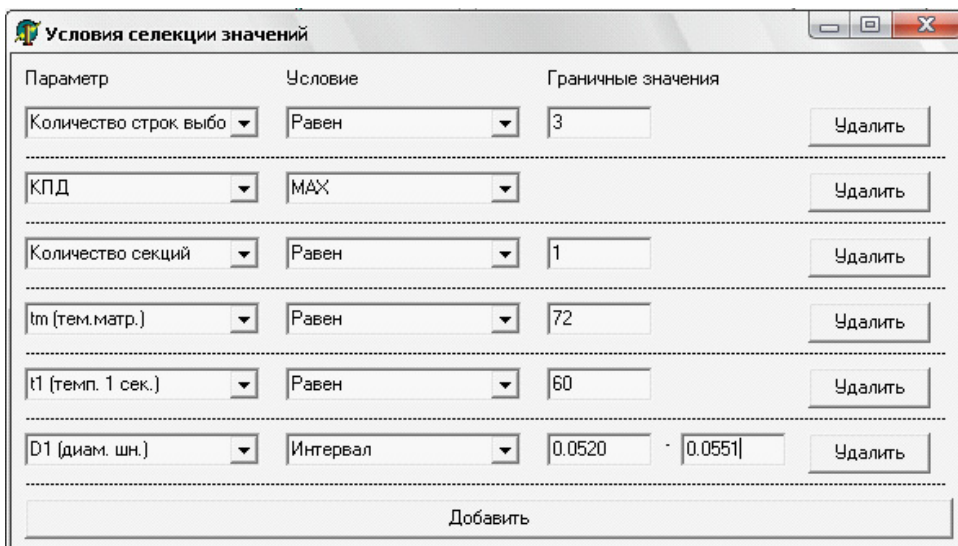


Рисунок 8. Указание условий селекции значений

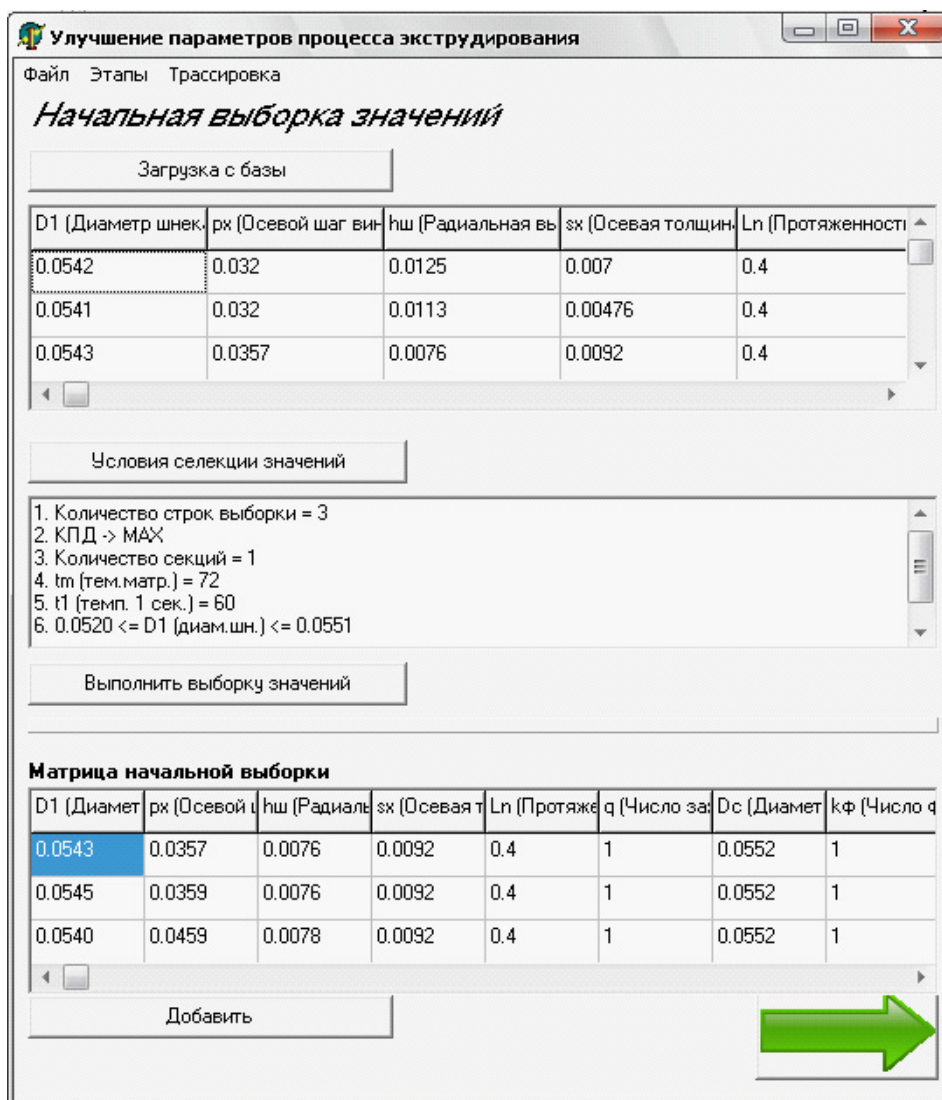


Рисунок 9. Результат выборки

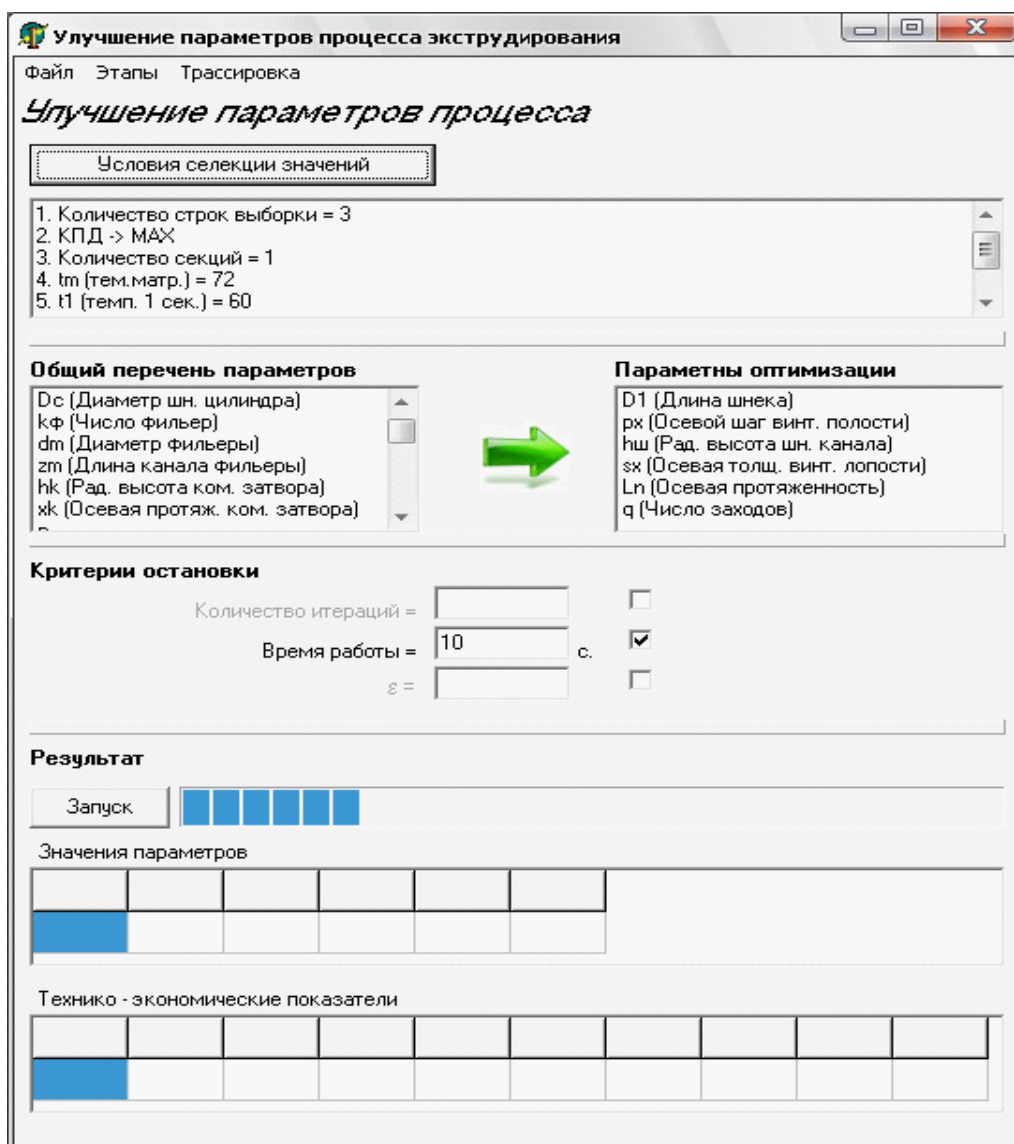


Рисунок 10. Процесс улучшения параметров экструдирования

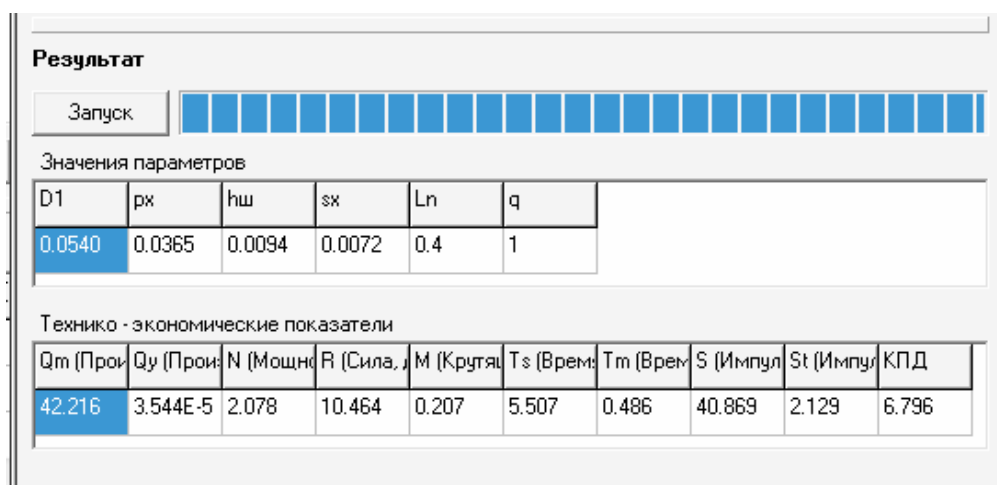


Рисунок 11. Результат работы алгоритма

введенным ранее условиям (рисунок 8). Они будут участвовать в процессах скрещивания и мутации для получения еще более подходящих величин. При необходимости имеется возможность добавить группу показателей вручную, либо выборочно добавить группы показателей из базы данных. Все введенные значения будут так же участвовать в процессе улучшения параметров.

После осуществления выборки начинается этап «Улучшение параметров процесса» (рисунок 10).

В данном примере подбираются параметры шнека, которые максимально удовлетворяют условиям селекции значений, введенные на этапе начальной выборки (рисунок 8). Таким образом, из блока «Общий перечень параметров» выбраны только параметры шнека: диаметр шнека ($D1$), осевой шаг винтовой полости (px), радиальная высота шнекового канала ($hш$), осевая толщина винтовой полости (sx), осевая протяженность (Ln), число заходов (q). Результатом будет набор данных параметров с оптимальными значениями, при которых КПД стремится к максимуму, и соблюдаются граничные условия.

В качестве критерия останова алгоритма выбрано время работы.

После завершения алгоритма выводятся найденные значения выбранной группы параметров шнека и технико-экономические показатели сформированного процесса экструдирования: производительность (Qm), производительность зазора утечек (Qu), мощность сил полезного сопротивления (N), крутящий момент (M), время прессования в канале шнека (Ts), время прессования в фильерах матрицы (Tm), импульс нормальных напряжений (S), импульс касательных напряжений (St), КПД (рисунок 11). При необходимости имеется возможность просмотреть результаты выполнения каждой итерации, перейдя по пункту меню

«Трассировка».

Таким образом, используя данную модель оптимизации возможно «улучшить» технико-экономические показатели процесса экструдирования посредством применения найденных геометрических, конструктивных и кинематических параметров.

Данный метод имеет ряд недостатков – это сходимость к локальному оптимуму, недостаточная точность результатов.

Поэтому, если необходима оптимизация конкретного параметра при изменении только одного показателя и постоянстве других, то рациональнее использовать точные методы многомерной оптимизации (метод покоординатного спуска, метод Хука – Дживса и др.).

Преимуществом применения данной модификации генетического алгоритма является масштабируемость задачи оптимизации. С его помощью, возможно, оптимизировать различный набор параметров, а также устанавливать всевозможные граничные условия, как для одного результирующего показателя, так и для нескольких. Реализованная модель не требует существенных вычислительных затрат, которые необходимы при реализации точных методов, и которые зачастую невозможны в сложных системах. ГА обеспечивает быструю поисковую сходимость алгоритма. Результаты работы метода удовлетворяют условиям протекания экструзионного процесса, поскольку получены путем имитационного моделирования.

В качестве устранения выявленных недостатков, возможно совмещение точных методов многомерной оптимизации и реализованного метода поиска оптимальных параметров процесса экструдирования на основе модификации разработанной модели.

11.06.2013

Список литературы:

1. Карташов Л.П., Зубкова Т.М. Параметрический и структурный синтез технологических объектов на основе системного подхода и математического моделирования. – Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – 211 с.
2. Соколов М.В. «Исследование и оптимизация процесса и оборудования экструзии резиновых смесей»: Дис. ...канд. техн. наук. Тамбов, 2001. С. 118.
3. Пляскин И.И. Оптимизация технических решений в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1982. – 176 с.
4. Емельянов В. В., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Теория и практика эволюционного моделирования. – М: Физматлит, 2003. – С. 432.
5. Абу Д.М. «Исследование и разработка системы формирования и реконфигурации архитектуры конструкторских САПР радиоэлектронной аппаратуры»: Дис. ...канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2009. С. 160.
6. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №№2011612043 Расчет технико-экономических параметров одношнековых экструдеров / Т.М. Зубкова, Н.А. Мустюков, М.А. Корякина РОСПАТЕНТ – №2010617272 – Заявлено 19.11.2010. – Оpubл. 05.03.2011.

7. Тарков М.С. Интеллектуальные информационные системы в условиях неопределенности и риска // Нейрокомпьютерные системы. [Электронный ресурс], 2006. – Режим доступа: WWW.URL: http://www.intuit.ru/department/expert/neuro/15/neuro_15.html

Сведения об авторе:

Зубкова Татьяна Михайловна, профессор кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем Оренбургского государственного университета, доктор технических наук, доцент

Мустюков Наиль Анварович, сотрудник кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем Оренбургского государственного университета
460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, тел. (3532) 724554, e-mail:bars87@mail.ru

UDC 681.5

Zubkova T.M., Mustyukov N.A.

Orenburg state university, e-mail:bars87@mail.ru

MULTIVARIABLE OPTIMIZATION OF DESIGN OF A SINGLE-SCREW EXTRUDER IS BASED ON ADAPTIVE METHODS OF RESEARCH

The article describes the implementation of a genetic algorithm to get the geometric and structural parameters of the extruder. The developed software gives an opportunity to perform multivariable optimization, allowing to «improve» the technical and economic results of the technological process.

Key words: design of extrusion machine, genetic algorithm, optimization module, module simulation, software system.

Bibliography:

1. Kartashov L.P., Zubkova T.M. Parametrical and structural synthesis of technological objects basis on the system approach and mathematical modeling. – Yekaterinburg: URO Russian Academy of Sciences, 2009. – 211 pages.
2. Sokolov M.V. «Research and optimization of process and extrusion equipment of rubber mixes»: Dis. ... Cand.Tech.Sci. Tambov, 2001. Page 118.
3. Plyaskin I.I. Optimization of technical solutions in mechanical engineering. – M.: Mechanical engineering, 1982. – 176 pages.
4. Emelyanov V.V., Kureychik V.V., Kureychik V.M. Theory and practice of evolutionary modeling. – M: Physmathlit, 2003. – Page 432.
5. Abu D. M. «Research and development the system of formation and reconfiguration architecture of design SAPR of radio-electronic equipment»: Abstract thesis ... Cand.Tech.Sci. St. Petersburg, 2009. Page 16.
6. Certificate of official registration the computer program No. 2011612043 Calculation of technical and economic parameters of single-screw extruder / T.M. Zubkova, N.A.Mustyukov, Koryakin ROSPATENT – to No. 2010617272 – It is declared 19.11.2010. – Opubl. 05.03.2011.
7. Tarkov M. S. Intellectual information systems in the conditions of uncertainty and risk//Neurocomputer systems. [Electronic resource], 2006. – Access mode: WWW.URL: http://www.intuit.ru/department/expert/neuro/15/neuro_15.html