

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт математики, физики и информационных технологий

(наименование института полностью)

Кафедра «Прикладная математика и информатика»

(наименование кафедры)

01.03.02 Прикладная математика и информатика

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Системное программирование и компьютерные технологии

(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Разработка алгоритма диагностики качества изделий из пластмасс для ЗАО «Мегапласт»

Студент

Б.С. Марченко

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

О.В. Лелонд

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

М.А. Четаева

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент, А.В. Очеповский

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ г.

Тольятти 2018

АННОТАЦИЯ

Целью исследования является разработка алгоритма, направленного на диагностику качества выпускаемой продукции предприятия ЗАО «Мегапласт».

Объект исследования – процесс диагностики качества выпускаемой продукции предприятия ЗАО «Мегапласт».

Предметом исследования является алгоритм диагностики качества деталей из пластмассы, предназначенных для интерьера и экстерьера автомобилей.

В первом разделе рассмотрены наиболее ярко выраженные дефекты продукции ЗАО «Мегапласт», а также раскрыты потенциальные причины возникновения дефектов и проанализированы способы их устранения. Во втором разделе дается описание разработанного алгоритма автоматизации технологических процессов участка ТПА на основе метода CART, а также описываются параметры литья под давлением, взятые с предприятия ЗАО «Мегапласт». Далее в разделе наглядно представлен действующий алгоритм диагностики качества выпускаемой продукции предприятия «Мегапласт». Здесь же приводится пример использования данного алгоритма.

Работа состоит из введения, 2-х разделов, заключения, списка литературы из 20 источников и 3-х приложений. Общий объем работы – 40 страниц, в том числе таблиц – 2, рисунков – 17.

ABSTRACT

The purpose of the study is to develop an algorithm aimed at diagnosing the quality of the products produced by the enterprise Meghaplast CJSC.

The object of the study is the process of diagnosing the quality of the products manufactured by MegaPlast.

The subject of the study is the algorithm for diagnosing the quality of plastic parts.

In the first section, the most pronounced defects in the products of Megaplast CJSC are considered, as well as the potential causes of defects and the ways of their elimination are analyzed. In the second section, a description is given of the developed algorithm for automating the technological processes of the TPA section based on the CART method, as well as the parameters of injection molding taken from the enterprise of CJSC Megaplast. Further in the section, the current algorithm for diagnosing the quality of the products of the Megap-Last enterprise is graphically presented. Here is an example of using this algorithm.

The work consists of an introduction, 2 sections, conclusion, a list of literature from 20 sources and 3 applications. The total amount of work, 40 pages, including tables - 2, drawings - 17.

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	4
ВВЕДЕНИЕ	9
1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА	12
1.1 Обзор предметной области	12
1.2 Возможные причины и способы устранения дефектов	15
2 РАЗРАБОТКА ОСНОВАННОГО НА МЕТОДЕ CART АЛГОРИТМА ДИАГНОСТИКИ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПЛАСТМАСС ДЛЯ ЗАО «МЕГАПЛАСТ»	22
2.1 Алгоритм CART как метод построения классификационной модели	22
2.2 Основные параметры литья под давлением	27
2.3 Алгоритм диагностики с использованием алгоритма CART	30
2.4 Пример использования алгоритма	32
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	40
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	42
ПРИЛОЖЕНИЕ А	45
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	46
ПРИЛОЖЕНИЕ В	47

ВВЕДЕНИЕ

Как показывает повседневная практика, автоматизация систем автоматического управления оборудования играет большую роль в производстве современной продукции. Номенклатура производимой продукции любого действующего предприятия расширяется с каждым годом, а, следовательно, у предприятий возникает необходимость в наращивании ресурсов для работы оборудования.

Автоматизация производства на основе программирования для развития и совершенствования существующих и создающихся технологических производств является одним из важных направлений модернизации производства.

Особенностью современного этапа развития автоматизации производства является появление и массовое применение качественно новых технических средств, написание алгоритмов для станков «Термопластавтомат» (ТПА).

Внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами приобретает особое значение в связи с большим количеством брака и дефектов изделий.

Будет уместным отметить, что автоматизация технологических процессов производства продукции позволит предприятию:

- значительно снизить затраты, связанные с простоями оборудования;
- улучшить качество выпускаемой продукции;
- сократить количество брака и отходов;
- уменьшить затраты сырья;
- обеспечить повышение эффективности работы оборудования.

Таким образом, актуальность данной работы обусловлена необходимостью совершенствования управления технологическими процессами, которые, в свою очередь, позволят повысить производительность труда на предприятии, улучшить качество производимой продукции, а также повысить уровень безопасности на производстве.

Объектом исследования является процесс диагностики качества изделий из пластмассы.

Предмет исследования – это алгоритм диагностики качества деталей из пластмассы.

Целью выпускной квалификационной работы является реализация алгоритма диагностики технологического процесса литья продукции предприятия ЗАО «Мегапласт».

В ходе работы были поставлены следующие задачи:

1. Анализ качества производимой продукции предприятия ЗАО «Мегапласт».
2. Выявление потенциальных причин возникновения брака в продукции на основе анализа технологического процесса литья под давлением.
3. Разработка основанного на методе CART алгоритма диагностики качества изделий из пластмассы для ЗАО «Мегапласт».
4. Программное моделирование алгоритма CART.

Бакалаврская работа состоит из введения, двух разделов, заключения, списка используемой литературы и приложений.

Во введении обоснована актуальность работы, поставлены цель и задачи работы, определены объект и предмет исследования.

В первом разделе анализируется технологический процесс литья под давлением при изготовлении пластмассовых изделий предприятия ЗАО «Мегапласт», предназначенных для интерьера и экстерьера автомобилей.

Исходя из анализа технологии литья продукции ЗАО «Мегапласт» проанализированы основные причины возникновения дефектов, а также способы их устранения.

Второй раздел бакалаврской работы посвящен разработке основанного на методе CART алгоритма диагностики качества изделий из пластмассы для ЗАО «Мегапласт». Данный раздел раскрывает сущность и принцип построения алгоритма дерева классификаций.

Далее представлены результаты работы алгоритма в виде дерева принятия решений.

На основе данного метода проанализировано качество выпускаемых изделий на действующем оборудовании предприятия ЗАО «Мегалпаст».

В заключении бакалаврской работы подведены итоги и сделаны выводы.

1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

1.1 Обзор предметной области

Технологии искусственного интеллекта широко распространены в системах диагностики, используемых в различных отраслях промышленности.

Искусственный интеллект и машинное обучение особенно актуальны в настоящее время. Благодаря технологиям индуктивного машинного обучения не требуется заниматься прямым решением задач, так как машинное обучение позволяет обучиться в процессе применения решений множества сходных задач. Для реализации таких методов используются средства математической статистики, численных методов, методов оптимизации, теории графов.

Литье под давлением – распространенный процесс переработки пластмасс путем впрыска под давлением в пресс-форму с охлаждением в конце процесса. Литье под давлением используется на большинстве крупных предприятий Самарской области.

Так, например, на предприятии ЗАО «Мегапласт» применяется литье под давлением при изготовлении изделий, предназначенных для интерьера и экстерьера автомобильной промышленности.

Как показывает практика, главной проблемой литья под давлением является превышение уровня брака. Это может быть обусловлено тем, что на технологический процесс литья воздействует множество факторов, которые принято называть возмущающими воздействиями.

Под возмущающими воздействиями стоит понимать те действия, которые вызывают сбой параметров системы автоматического управления (САУ). Например, к таким воздействиям можно отнести следующие сбои управления оборудованием:

- отклонение температурного режима пресс-формы и материала;


- колебание скорости подачи материала;
- изменения давления в пресс-форме;
- нарушение температуры расплава в зоне перед шнеком.

Данные сбои параметров САУ поддаются измерению и статистической обработке данных.


В таблице 1.1 представлены возмущающие воздействия, которые, в свою очередь, привели к появлению дефектов продукции предприятия ЗАО «Мегапласт».

Таблица 1.1 – Следствие влияния возмущающих воздействий на качество производимой продукции предприятия ЗАО «Мегапласт»

Ша де а	Наименование дефекта	Проявления	Фотография (иллюстрация дефекта)
01	Недолив (однокомпонентное литье)	 Неполное заполнение отливаемого изделия	 Изделие «Панель спинки заднего сиденья левая»
02	Недолив мягкого компонента (двухкомпонентное литье)	Недолив мягкого компонента: изделия «Обтекатель порога правый/левый»	

		«Накладка рамы ветрового окна правая/левая»	 <p>Изделие «Обтекатель порога правый/левый»</p>
--	--	---	--

022	Трещина	Щель, углубление на поверхности изделия	 <p>Изделие «Панель спинки заднего сиденья левая»</p>
023	Загрязнение изделия	Загрязнения, вызванные окружающей средой: пыль, грязь	 <p>Изделие «Кронштейн противосолнечного козырька»</p>
025	Несоответствие цвета (разно-тонность)	Различие в цвете изделий	 <p>Изделие «Кронштейн противосолнечного козырька»</p>

			правый/левый»
026	Замятие	Сминание детали или отдельных её частей	 <p>Замятие в пресс-форме Изделие «Колпачок защитный дверного включателя» Механическое замятие (в таре)</p>

Как было ранее отмечено, возмущающие воздействия непосредственным образом влияют на качество выпускаемой продукции ЗАО «Мегапласт». Следовательно, влияние данных воздействий можно оценить методом анализа, который, в свою очередь, подразумевает решение задачи построения дерева классификации.

1.2 Возможные причины и способы устранения дефектов

С учетом таблицы 1.1 рассмотрим более подробно причины и способы устранения дефектов, выявленных в продукции ЗАО «Мегапласт».

Наиболее ярко выраженными дефектами на предприятии являются недолив твердого, мягкого компонентов. Данные дефекты представлены на рисунке 1.1.

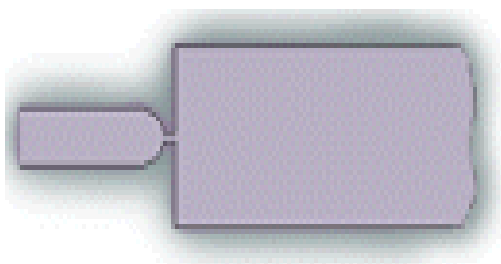


Рисунок 1.1 – Недолив твердого, мягкого компонентов (неполный впрыск)

Причинами возникновения данных дефектов могут быть:

- перестывание материала при впрыске из-за низкой скорости впрыска;
- низкая температура расплава;
- низкая температура формы;
- заниженная толщина литниковых каналов;
- эффект замедления;
- запираание воздуха («воздушная ловушка»).

Далее рассмотрим причины возникновения данных видов дефектов.

Перестывание материала при впрыске из-за низкой скорости впрыска.

При низкой скорости впрыска диссипативное тепловыделение в расплаве недостаточно, чтобы компенсировать потери тепла через формообразующие поверхности. Охлаждение расплава приводит к недоливу.

Преждевременное переключение на выдержку под давлением. При переключении на выдержку под давлением режим заполнения при управлении скоростью впрыска заменяется режимом заполнения при управлении давлением. Скорость впрыска при этом падает, что приводит к снижению температуры фронта расплава. Если температура расплава опускается до температуры, при которой расплав теряет текучесть, наблюдается недолив.

При попадании расплава в разветвление канала на толстый и тонкий расплав начинает охлаждаться быстрее в тонкой стенке, замедляя течение. Снижение скорости течения ведет к уменьшению тепловыделения в расплаве от трения. Уменьшенное тепловыделение уже не может компенсировать потери тепла за счет теплопроводности более холодных (относительно температуры расплава) стенок пресс-формы, температура фронта расплава в тонкой части потока начинает быстро понижаться, следствием чего является застывание фронта расплава. В то же время течение расплава в толстом канале сопровождается достаточным выделением тепла. Повышение

давления расплава в конце стадии впрыска не позволяет устранить недолив, так как пробка из холодного полимера, образовавшаяся тонком канале, препятствует течению расплава.

При высокой скорости впрыска профиль температуры расплава изменяется – появляются два максимума в пристенных слоях. В этом случае эффект также может проявляться, но недолив возникает уже на другом гнезде.

Следующим немаловажным дефектом является облой, который представлен на рисунке 1.2.

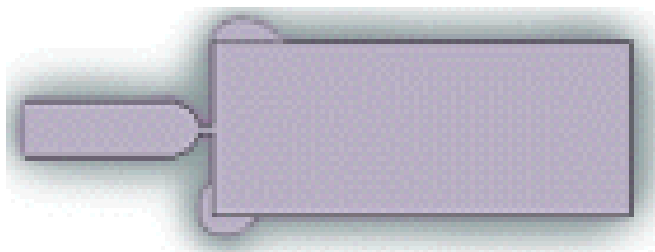


Рисунок 1.2 – Облой

Возможными причинами возникновения облоя являются:

- недостаточное усилие замыкания литьевой машины при впрыске;
- большие деформации плит пресс-формы вследствие высокого давления на стадии впрыска, пикового давления (в конце стадии впрыска) или высокого давления выдержки;
- неравномерное заполнение пресс-формы;
- перекос формы;
- неплотно подогнанные плоскости смыкания;
- износ формы.

Недостаточное усилие замыкания литьевой машины при впрыске. При появлении облоя вследствие недостаточного усилия замыкания необходимо

либо снизить распорное усилие, либо использовать литьевую машину с большим усилием замыкания.

Для уменьшения распорного усилия при впрыске рекомендуется:

- увеличить температур расплава;
- увеличить температуру формы;
- уменьшить число гнезд;
- использовать более текучий материал.

Такой дефект, как спай, возникает при стыковке двух потоков, он представлен на рисунке 1.3.

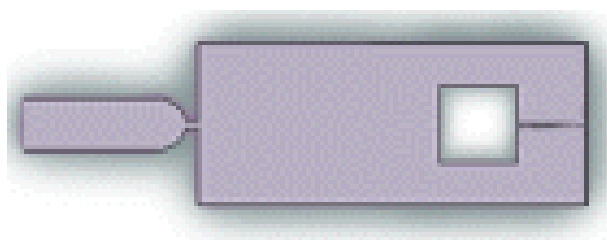


Рисунок 1.3 – Спай

Причину образования данного дефекта можно объяснить тем, что при стыковке двух потоков образуется воздушная канавка на поверхности изделия.

Внешний вид спая определяется глубиной воздушной V-образной канавки, особенностями марки материала изделия, текстурой поверхности изделия.

Глубина канавки зависит от условий охлаждения и уплотнения области спая. Все факторы, способствующие медленному охлаждению и лучшему уплотнению области спая, приводят к уменьшению глубины воздушной канавки, а значит и улучшению внешнего вида спая:

- повышение толщины изделия;

- уменьшение теплопроводности материала пресс-формы в области спая (использование легированных сталей);
- повышение температуры расплава в области спая;
- повышение давления выдержки.

Запирание воздуха в месте спая («воздушная ловушка») приводит к ухудшению внешнего вида спая. Поэтому в области спаев рекомендуется предусматривать воздухоотводы.

Существует 2 типа спаев: «спай в стык» и «спай в касание». Как можно наблюдать на рисунке 1.4, данные спаи различаются по механизму своего образования.

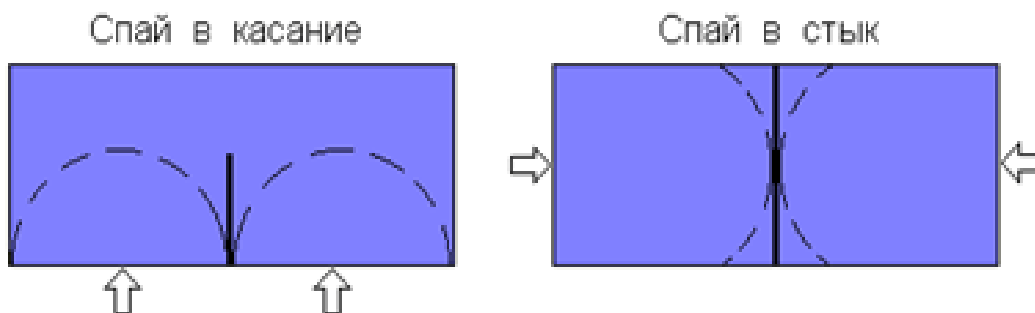


Рисунок 1.4 – Типы и механизмы образования спаев

Рассмотрим характерные механизмы образования каждого типа спая, которые представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Характерные механизмы образования спаев

Характерные черты образования	Спай в касание	Спай в стык
Потоки расплава	Потоки расплава продолжают движение, выделяя тепло вязкого трения	Потоки расплава останавливаются

Остывание расплава в области спая	Медленное – горячий спай	Быстрое – холодный спай
Прочность спая	Больше	Меньше

Прочность спая определяется несколькими факторами:

- взаимодиффузией потоков расплава;
- глубиной воздушной канавки;
- остаточными напряжениями в области спая;
- эффектом «внутреннего течения».

Снижение прочности связывают с рядом факторов, в первую очередь, с нарушением в области спая структуры и изменением молекулярной ориентации материала.

Воздушная канавка является концентратором напряжений, и для аморфных материалов обычно с нее обычно начинается разрушение изделия. Для кристаллизующихся материалов изделие часто разрушается вблизи спая.

При образовании спая после отверстия взаимодиффузия потоков расплава увеличивается по мере удаления от отверстия, поэтому и прочность спая повышается в том же направлении (рисунок 1.6).

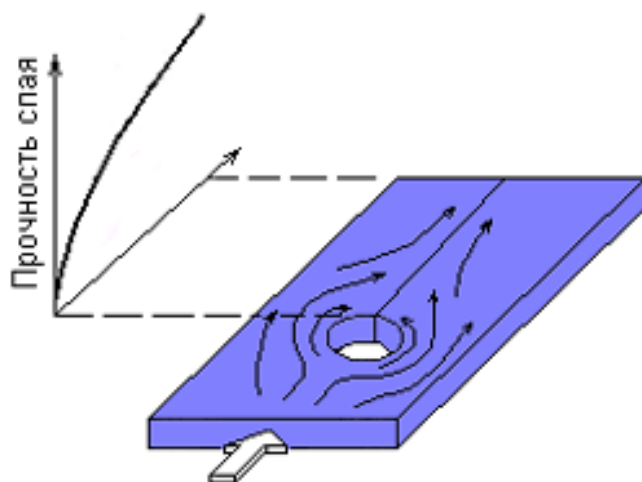


Рисунок 1.6 – Прочность спая увеличивается по мере удаления от отверстия

Повышение температуры фронта расплава способствует увеличению подвижности макромолекул, увеличивает взаимодиффузию и в общем повышает прочность спая. Небольшое снижение прочности при высоких температурах объясняется ориентационными эффектами.

Прочность спая в отливках из материалов, содержащих стекловолокно, может составлять 20 - 80% от прочности материала без спая. Уменьшение прочности спаев для таких материалов настолько значительно, что прочность спаев может быть равна или даже меньше прочности базового полимера. Причина этого явления - неравномерная ориентация стекловолокна в области спая.

Если в месте запираания воздуха вентиляция уже существует, для лучшего вытеснения воздуха из полости можно снизить скорость впрыска в конце процесса заполнения, а также увеличить толщину вентиляционных каналов. Для предотвращения попадания воздуха из литниковой системы рекомендуется также предусмотреть воздухоотводы на всех поворотах литниковых каналов (это особенно важно при тонкостенном литье).

2 РАЗРАБОТКА ОСНОВАННОГО НА МЕТОДЕ CART АЛГОРИТМА ДИАГНОСТИКИ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПЛАСТМАСС ДЛЯ ЗАО «МЕГАПЛАСТ»

2.1 Алгоритм CART как метод построения классификационной модели

Задачу построения дерева классификации независимых переменных можно сформулировать следующим образом. [6],[9]

Рассмотрим выборку множеств данных, которая наглядно представлена формулой 2.1:

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_N | x_i \in \mathbb{R}^M\}. \quad (2.1)$$

Множество зависимых переменных зададим формулой 2.2:

$$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_N | y_i \in \mathbb{R}^M\}. \quad (2.2)$$

где N – размер обучающей выборки;

M – количество независимых переменных.

Обозначим через D множество исходных данных. Его можно записать в виде:

$$D = \{(x, y)_i\}. \quad (2.3)$$

Вектор x_i задается множеством значений числовых атрибутов P , а y_i определяется значением:

$$x_i = (P_1, P_2, \dots, P_M). \quad (2.4)$$

Для задания классификационной модели используется параметрическое семейство функций вида $f(w, x)$, которое можно представить формулой 2.5:

$$f: W \times X \rightarrow Y, \quad (2.5)$$

где W – пространство настраиваемых параметров.

Необходимо отметить, что классификационная модель будет являться настроенной в том случае, когда все параметры будут зафиксированы. Иными словами, модель будет задавать отображение для фиксированных значений W , которые представлены формулой 2.6:

$$f: X \rightarrow Y. \quad (2.6)$$

Принято считать, что наиболее распространенным и используемым представлением классификационной модели является дерево принятия решений или дерево классификации.

Данный метод построения широко используется в статистике и применяется с целью автоматического анализа данных для прогнозных моделей. На рисунке 2.1. представлено визуальное построение дерева принятия решений 2.1.

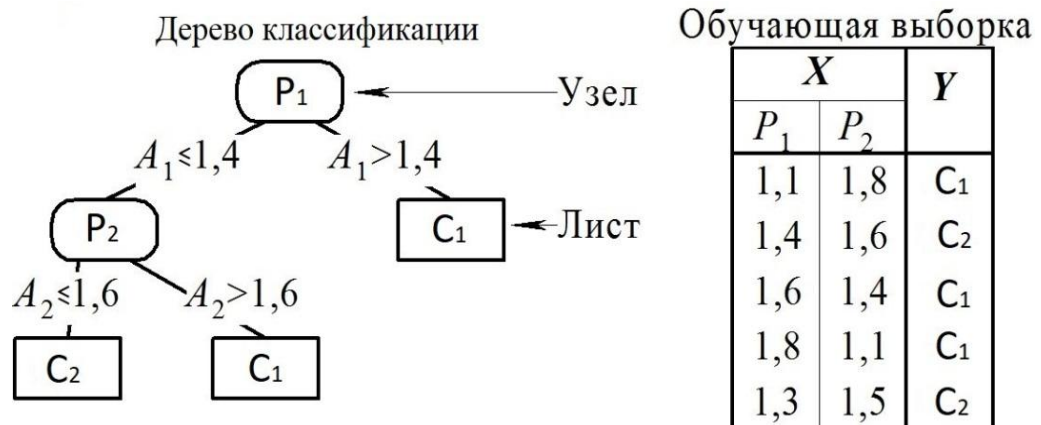


Рисунок 2.1 – Дерево принятия решений, дерево классификации

Из рисунка 2.1 видно, что дерево классификации состоит из узлов и листов. В узлах осуществляется проверка по атрибутам вектора x_i . В листах размещены значения множества Y .

Для нахождения значения выходного параметра объекта, задаваемого множеством значений (P_1, P_2, \dots, P_M) нужно спускаться по дереву от корня до одного из листов.

Спуск осуществляется в соответствии с условиями перехода, указанными на ребрах. В листах записаны значения множества Y . В зависимости от значений (P_1, P_2, \dots, P_M) , спускаясь по дереву, приходим к разным листьям, содержащим значения множества Y .

Суть данного метода - в рекурсивном разбиении множества объектов из обучающей выборки D на подмножества T , которые содержат объекты с одинаковыми значениями выходного параметра y_i .

Для каждого подмножества T в зависимости от значений выходного параметра возможны следующие случаи:

- 1) множество T включает в себя один или более объектов с одинаковыми значениями выходного параметра y_i . В этом случае дерево решений для T представляет собой лист, возвращающий значение y_i ;
- 2) множество T является пустым. В таком случае множество T является листом с выходным значением, вычисляемым как среднее арифметическое выходных значений объектов, находящихся в узле-родителе;
- 3) множество T включает в себя объекты с различными значениями выходного параметра y_i . В данном случае множество T разбивается на подмножества: выбирается один из атрибутов P_1, P_2, \dots, P_M , затем T делится на подмножества по выбранному атрибуту и соответствующему ему условию.

Описанные шаги рекурсивно повторяются для всех получающихся подмножеств до тех пор, пока все подмножества не будут объявлены листьями.

Главная идея алгоритма CART – разделение всего пространства признаков на подобласти различного размера, в которых выходная переменная y_i принимает постоянное значение.

При построении дерева классификации важно выбрать условия в узлах таким образом, чтобы было обеспечено оптимальное разбиение обучающей выборки на подмножества. Это нужно для того, чтобы построенное дерево содержало наименьшее количество узлов и обеспечивало максимальную точность классификации.

В алгоритме CART выбор наилучшего разбиения для текущего узла, содержащего в себе множество T объектов t , происходит следующим образом.

В первую очередь определяются все возможные варианты разбиения. Для каждого атрибута P_i существует несколько вариантов разбиений, количество которых равно мощности множества Z порогов. Множество порогов находится путем записи всех уникальных значений (в обучающей выборке D) рассматриваемого атрибута P_i в порядке возрастания без повторений с отбрасыванием самого большого значения. Затем каждое значение порога z выступает в роли точки деления исходного множества T , состоящего из объектов t , на подмножества T_1 и T_2 :

$$\begin{aligned} T_1 &= t \in T \mid a \ t \leq z \\ T_2 &= t \in T \mid a \ t > z \end{aligned} \quad (2.7)$$

где a – значение атрибута, по которому производится разбиение.

Затем каждый вариант разбиения оценивается следующим образом.

Обозначим N – число примеров в узле-предке, L , R – число примеров соответственно в левом и правом потомке, l_i и r_i – число экземпляров i -го класса в левом/правом потомке.

Таким образом, качество разбиения оценивается по следующей формуле 2.8:

$$Ginisplit = \frac{L}{N} \cdot 1 - \sum_{i=y}^n \frac{l_i}{L} + \frac{R}{N} \cdot 1 - \sum_{i=1}^n \frac{r_i}{R} \rightarrow \min \quad (2.8)$$

Для уменьшения объема вычислений преобразуем формулу 2.8:

$$Ginisplit = \frac{1}{N} \left[L \cdot 1 - \sum_{i=y}^n \frac{1}{L^2} \cdot l_i^2 + R \cdot 1 - \sum_{i=1}^n \frac{1}{R^2} \cdot r_i^2 \right] \rightarrow \min \quad (2.9)$$

Так как умножение на константу не имеет смысла при минимизации, можно записать:

$$Ginisplit = L - \frac{1}{L} \cdot \sum_{i=1}^n l_i^2 + R - \frac{1}{R} \cdot \sum_{i=1}^n r_i^2 \rightarrow \min$$

$$Ginisplit = N - \frac{1}{L} \cdot \sum_{i=1}^n l_i^2 + \frac{1}{R} \cdot \sum_{i=1}^n r_i^2 \rightarrow \min \quad (2.10)$$

$$Gsplitsplit = \frac{1}{L} \cdot \sum_{i=1}^n l_i^2 + \frac{1}{R} \cdot \sum_{i=1}^n r_i^2 \rightarrow \max$$

В итоге лучшим будет то разбиение, для которого величина максимальна.

Таким образом, алгоритм CART при построении классификационной модели самостоятельно определяет, какой атрибут из набора P_1, P_2, \dots, P_M и какое значение порога z необходимо использовать на каждой итерации построения дерева.

2.2 Основные параметры литья под давлением

Суть метода литья под давлением термопластавтоматов заключается в переведении материала в вязкотекучее состояние под действием тепла материального цилиндра, после чего происходит впрыск материала в форму. [11] Материал имеет вид гранул, которые засыпаются в бункер. Шнек давит на порцию расплава под большим давлением (от 50 до 250 МПа) через литниковую втулку. Температура формы (P_1) в соотношении с температурой расплава ($T_p - T_f$) влияет на скорость охлаждения расплава.

Расчет давления литья $P_{л}$, необходимого для заполнения формы и формования в ней изделия с требуемой плотностью, проводится исходя из значения давления в форме P_f и суммы потерь давления DP_m — в цилиндре литьевой машины, $DP_{спл}$ — при течении полимера через сопло, $DP_{л.с}$ — при течении полимера по литниковым каналам и P_f — при заполнении формы полимером. В формуле 2.12 представлен расчет давления литья $P_{л}$.

$$P_{л} = \sum \Delta P + P_f. \quad (2.12)$$

Потери давления DP_m определяются коэффициентом потерь $K_p = 1.00$,
1.12. Для расчета потерь давления $DP_{спл}$ используется формула 2.13:

$$R_2 = \frac{V \cdot 1 + 3n}{n \pi c Q} \quad (2.13)$$

Также можем рассчитать скорость сдвига при помощи формулы 2.14:

$$y = \frac{3n+1}{4n} \quad (2.14)$$

Температура расплава значительно влияет на результаты моделирования, особенно для тех материалов, которые характеризуются

сильной зависимостью вязкости от температуры. Для подобных материалов следствием повышением температуры является существенное увеличение длины затекания расплава в оформляющей полости. В общем случае увеличение температуры расплава влечет за собой повышение качества спаев, снижение остаточных напряжений, но может вызывать термоокислительную деструкцию для материалов с малой термостабильностью. Для предотвращения деструкции при задании температуры расплава необходимо учитывать время пребывания термопластичного материала при температуре переработки, а также особенности регулирования температуры расплава в реальном литевом процессе.

На рисунке 2.2 изображена диаграмма изменения температуры расплава материала.

Некоторые проблемы литья, обусловленные температурой расплава на входе в оформляющую полость формы и максимальным давлением при впрыске, отображены на рисунке 2.3.

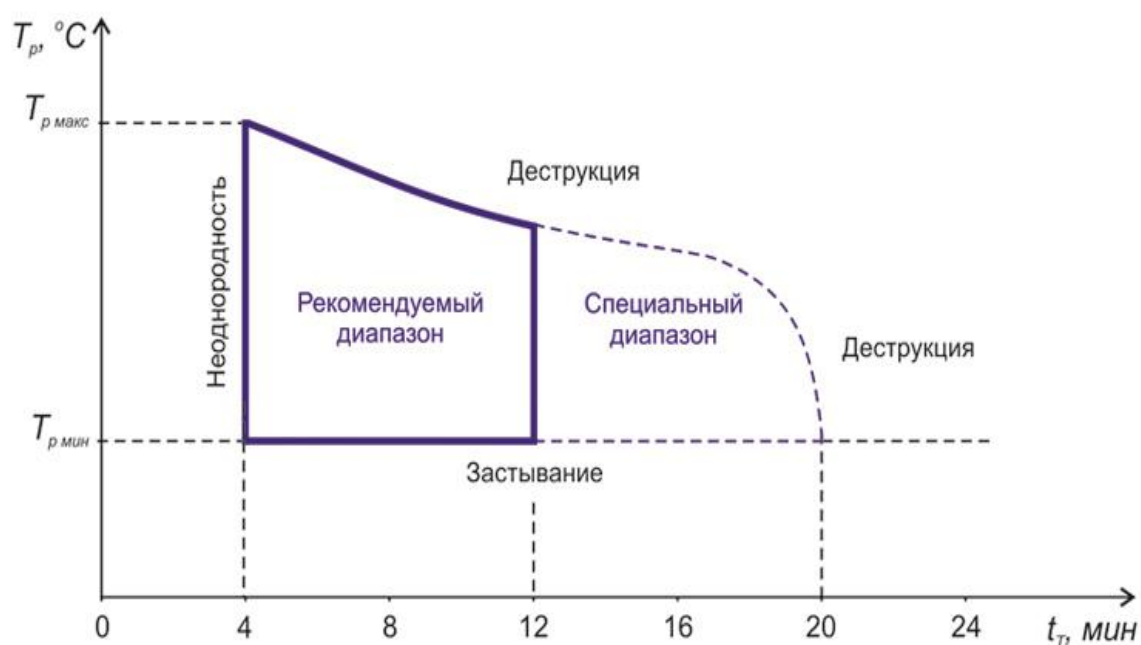


Рисунок 2.2 – Температура расплава материала

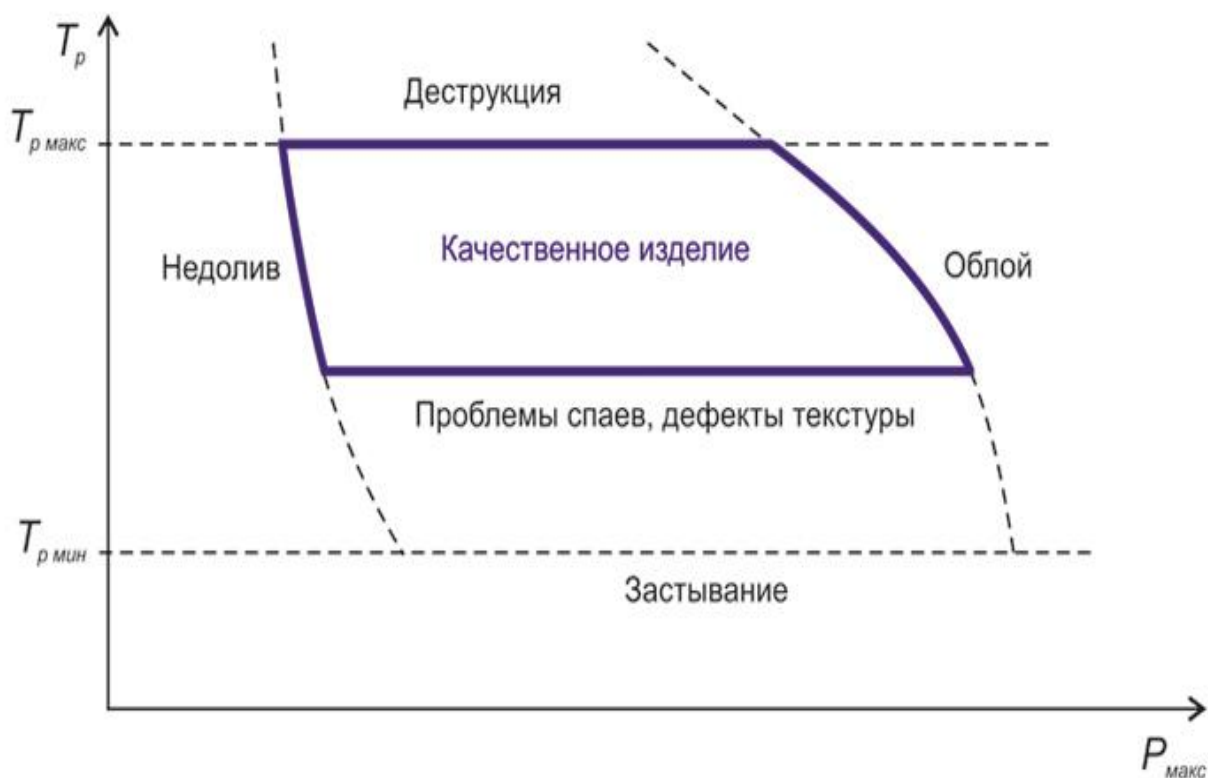


Рисунок 2.3 – Проблемы литья

Снижение максимального давления при впрыске или уменьшение температуры расплава приводят к недоливу, тогда как высокие значения максимального давления при впрыске являются причиной появления облоя из-за высокого среднего давления в оформляющей полости. Нижняя часть температурного диапазона не дает возможности получения приемлемого качества спаев, снижает блеск отливки (при полированных формообразующих деталях) или вызывает дефекты текстуры и другие проблемы текстурированной поверхности изделия.

Начальное давление выдержки задает скорость течения расплава в оформляющей полости в фазе заполнения после переключения на режим управления давлением. Низкое начальное давление выдержки при литье крупногабаритных, тонкостенных и иных видов изделий может являться причиной охлаждения фронта расплава и влечь за собой поверхностные дефекты, высокие остаточные напряжения и прочие проблемы. Очень высокое начальное давление выдержки приводит к большой скорости течения распла-

ва в конце процесса заполнения оформляющей полости, что также может явиться причиной высоких остаточных напряжений и прочих проблем.

На рисунке 2.4 представлена диаграмма «время выдержки под давлением – давление выдержки» и указаны типичные проблемы уплотнения изделия.



Рисунок 2.4 – Давление выдержки

2.3 Алгоритм диагностики с использованием алгоритма CART

Алгоритм диагностики осуществляется на основе экспериментального литья заготовок в стандартном режиме параметров станка. При этом для каждого периода литья измеряются характеристики данных. Таким образом, для каждого экспериментального литья получают столбец значений, в котором зафиксирован результат анализа данных, где:

- P_1 – это температура материала;
- P_2 – температура формы;
- P_3 – давление литья;

— P4 – давление формирования.

Исходя из выше представленных параметров вычисляется количество годной продукции и брака в смену.

На основе проведенного анализа статистических данных строится дерево классификации, состоящее из узлов и листков, где:

— C1 – обозначение годной продукции;

— C2 – обозначение брака.

Далее полученный массив данных анализируется с помощью алгоритма CART для автоматического определения такого сочетания проверок по значениям компонентов P1, P2, P3, P4, которое дает возможность прогнозировать качественную характеристику.

Таким образом, результатом работы будет являться алгоритм в виде дерева классификации, который описывает зависимость между значениями компонентов P1, P2, P3, P4 и получаемой качественной характеристикой.

2.4 Пример использования алгоритма

Для проведения тестирования алгоритма были взяты экспериментальные данные литья изделия Ваз 2121 «Подкрылка для автомобиля Нива».

Результаты 100 процессов литья подразделяются на два класса (С1 – деталь без дефектов, С2 – детали с наличием дефектов). Экспериментальные данные были разделены на две группы: первая группа предназначена для построения классификаторов качества, а вторая группа – для проверки точности работы классификаторов. Классификатор необходим для прогнозирования качества литья.

На рисунке 3.1 представлено тестирование работы программы по построению классификатора первой группы экспериментальных данных.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
2	1	295,3638	75,38235	805,7526	672,3413	C2															
3	2	238,2727	68,19649	899,6015	612,5623	C1															
4	3	227,5652	61,07392	1294,601	719,8259	C1															
5	4	273,3112	66,54774	937,0707	458,329	C2															
6	5	238,3818	50,68334	1194,195	706,4873	C1															
7	6	200,3492	53,54535	954,0397	682,262	C1															
8	7	281,1243	56,90847	933,6435	616,4417	C2															
9	8	187,346	67,63022	1406,848	544,338	C2															
10	9	218,9318	50,55101	1218,98	557,3348	C1															
11	10	197,7704	43,65141	1330,557	765,6084	C2															
12	11	201,7635	73,1955	1060,182	456,1402	C2															
13	12	206,7275	65,77711	851,0596	558,5482	C1															
14	13	223,7445	73,02518	1365,917	679,4362	C1															
15	14	268,4577	44,91962	1487,923	707,7321	C2															
16	15	202,1143	75,88416	1278,757	650,1111	C1															
17	16	234,9549	76,7143	1312,476	423,6078	C2															
18	17	268,3787	59,22357	1045,61	765,8443	C2															
19	18	171,7282	67,21065	1158,756	620,5636	C2															
20	19	230,048	51,83518	1024,518	610,6485	C1															
21	20	260,0896	67,20802	1045,934	658,4604	C2															
22	21	241,5309	59,56137	1414,918	493,2488	C2															
23	22	209,2393	73,68003	1038,774	637,097	C1															
24	23	267,3582	64,49309	1348,312	570,6628	C1															

Рисунок 3.1 – Тестирование алгоритма экспериментальных данных первой группы

На основе тестирования алгоритма экспериментальных данных было построено дерево классификации, которое представлено на рисунке 3.2

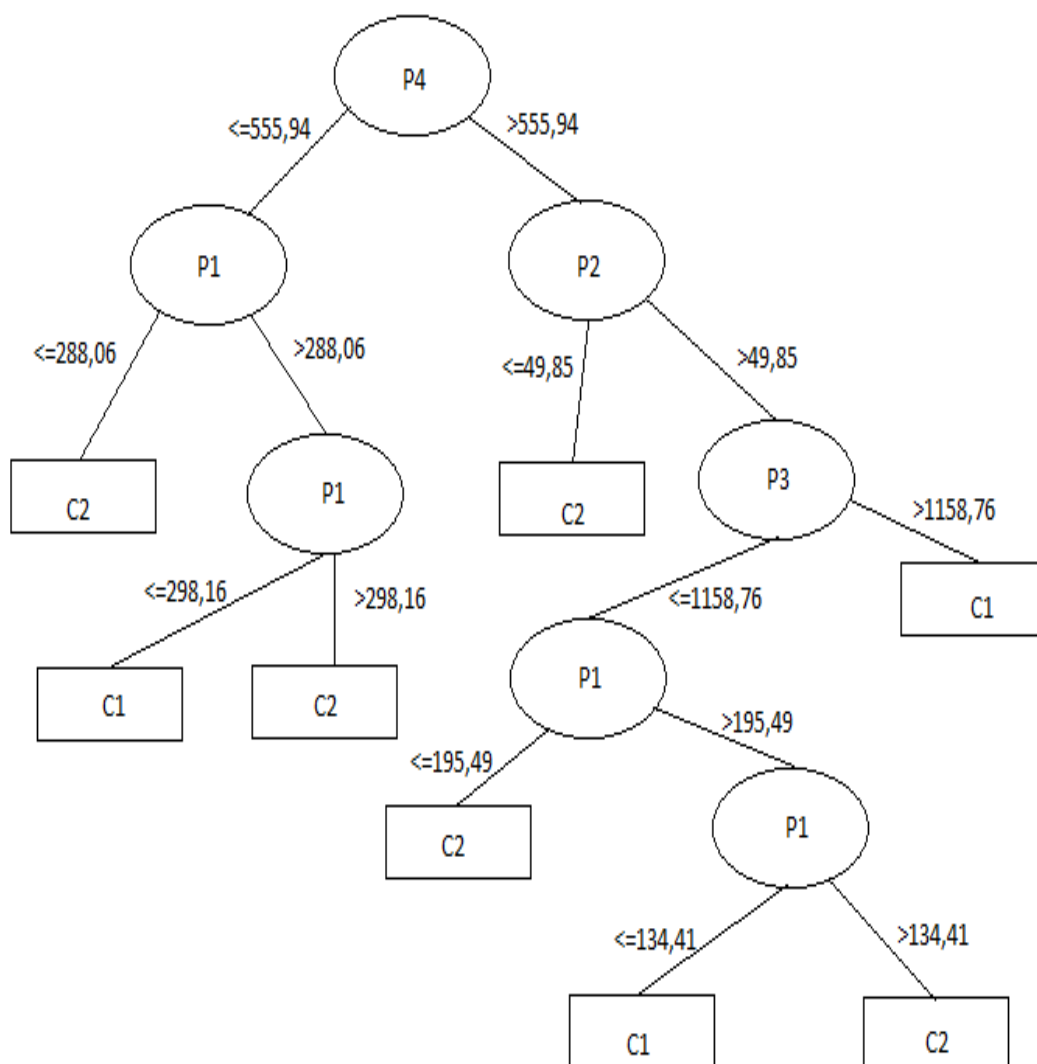


Рисунок 3.2 – Дерево классификации

Из рисунка 3.2 видно, что данное дерево принятия решений отображает группы параметров и качество выпускаемых изделий на действующем оборудовании предприятия ЗАО «Мегалпаст».

В данном случае будет разумным отметить, что параметр C1 характеризует количество выпускаемой годной продукции, а параметр C2 характеризует продукцию, которая не соответствует установленным

требованиям потребителя в нормативно-технической и конструкторской документации, а потому является браком на предприятии.

На основе построенного дерева классификации, представленного на рисунке 3.2, продемонстрируем процесс определения качества детали на примере следующего вектора измеренных параметров P_x .

Для реализации рассматриваемого алгоритма было разработано приложение. Наглядное представление данного приложения можно увидеть на рисунке 3.3.

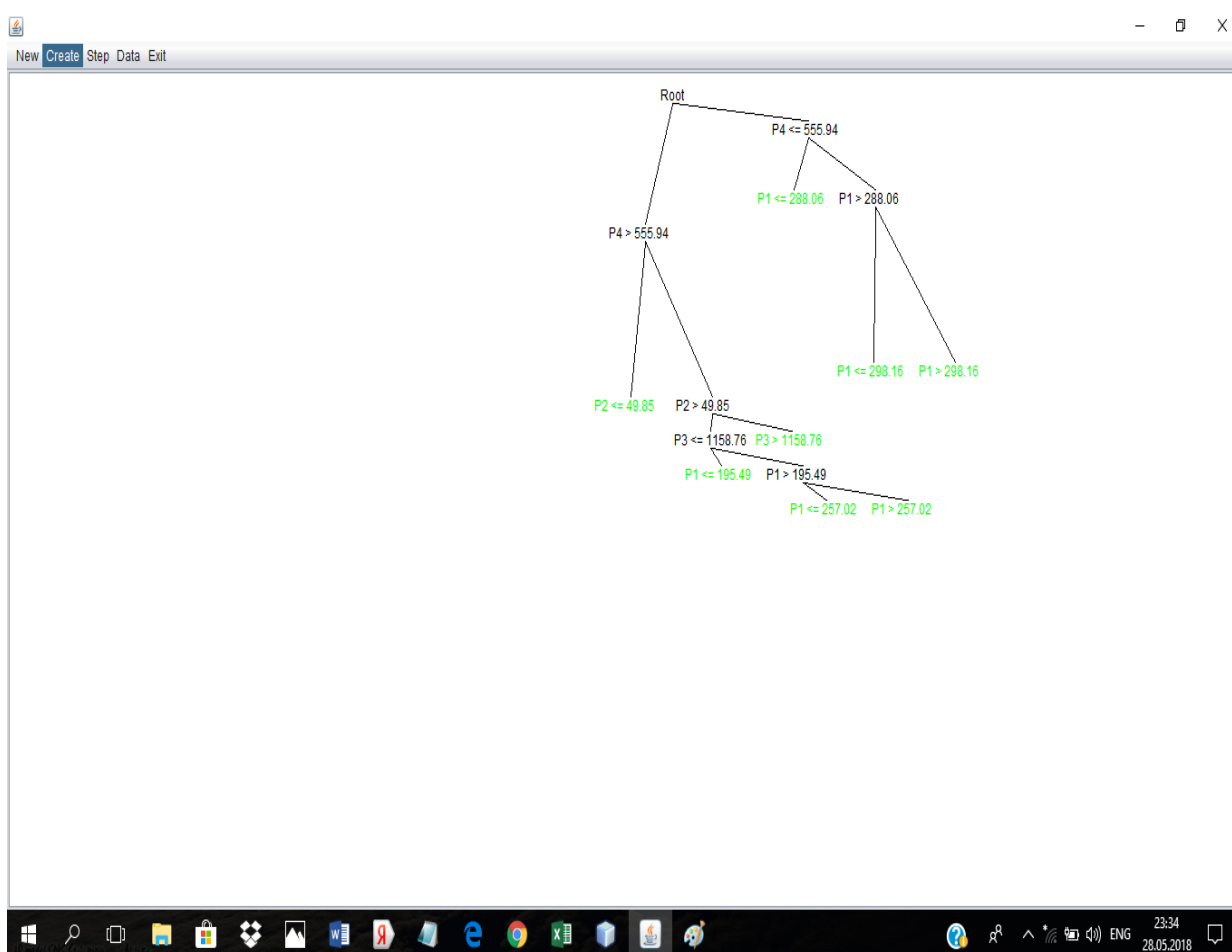


Рисунок 3.3 – Результат построения дерева классификации в приложении

Принцип работы приложения продемонстрирован на рисунке 3.4. Здесь можно наблюдать внешнее окно программы, в котором кнопка New отвечает за сброс процесса, Create – отвечает за построение дерева, Step – имеет

функцию пошагового построения действий, Data – позволяет просматривать исходные данные, Exit – выход из программы.

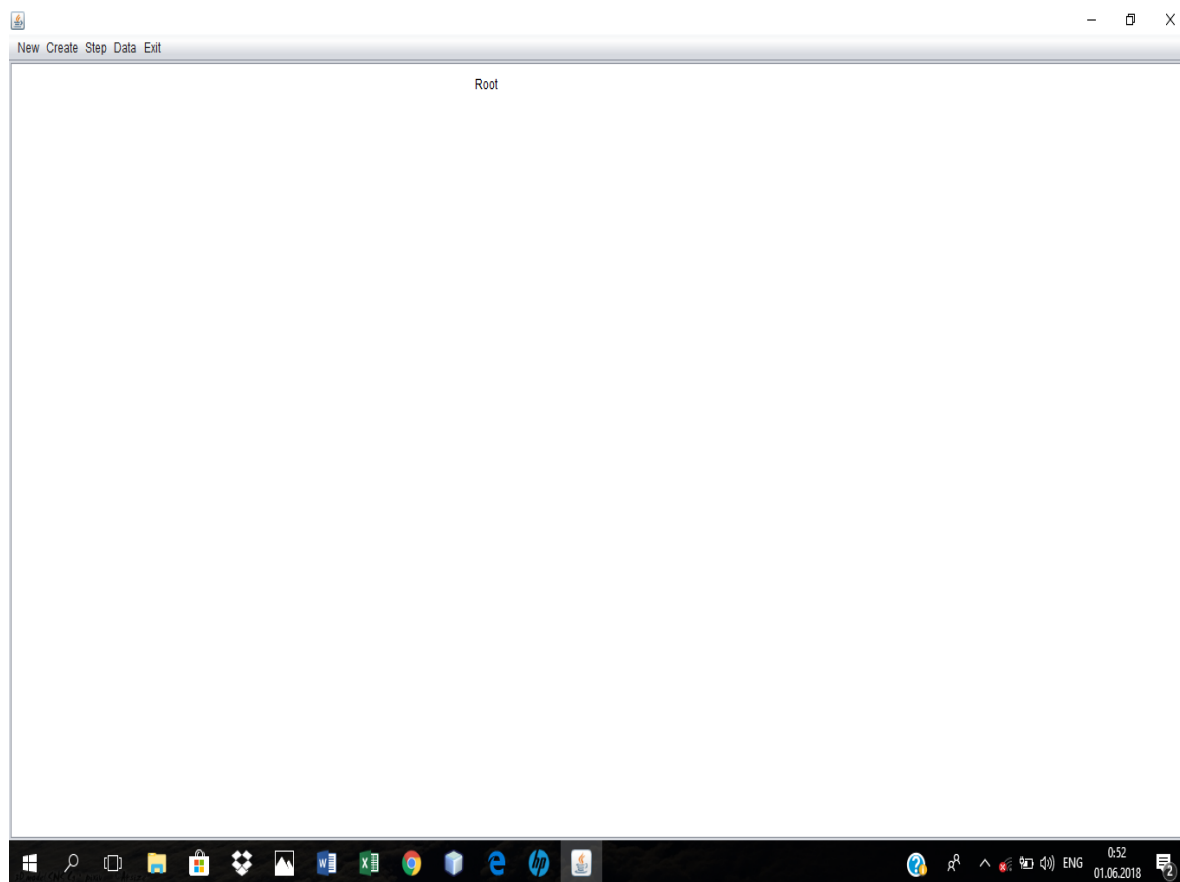


Рисунок 3.4 – Внешнее окно программы

Далее для построения дерева классификации будут использованы экспериментальные данные, указанные на рисунке 3.1.

При нажатии кнопки Data отображается полный список экспериментальных данных, а также результаты их обработки. Эти результаты представлены на рисунке 3.5.

Для просмотра окончательно построенного дерева необходимо нажать кнопку Create, которая отображена на панели приборов. Полученное дерево классификации представлено на рисунке 3.3.

В результате работы данного алгоритма будет определено, при каких значениях параметров деталь будет являться качественной, а при каких нет (C1 или C2).

P1	P2	P3	P4	Class
295.3638116812742	75.38235054817508	805.7525770370637	672.341302453536	C2
238.2727490628013	68.19648884047496	899.6014749873862	612.5623196625688	C1
227.56524275163503	61.07392387540511	1294.6007285406492	719.8259288144181	C1
238.38176218270868	50.68334052182895	1194.19476756972059	706.4872636105347	C1
200.3491783189949	53.54534948271218	954.0397306433517	682.2619527324171	C1
281.1243221678029	56.90847406464745	933.6435499257516	616.4417414383536	C2
218.9317712971828	50.551010286926214	1218.9803242087594	557.3348040301868	C1
197.77037831825365	43.651408999537	1330.5570239532065	765.6083820404681	C2
206.72745096314782	65.77710909255077	851.0596497841109	558.5481848153712	C1
223.74448123992752	73.02518371543411	1365.9173813717043	679.4361832814872	C1
268.4577021503556	44.91962112393166	1487.9232855749106	707.7321135649723	C2
202.11433677935088	75.8841568192442	1278.7567530401682	650.111182812483	C1
268.3786711451213	59.22357177570408	1045.6095006018452	765.844263796601	C2
171.72815456737285	67.21065287576664	1158.755503805713	620.5636290921633	C2
230.04795895722214	51.83518163601803	1024.51758262053	610.6485318626691	C1
260.0896393762738	67.20801575800692	1045.9341530744316	658.4603674993275	C2
209.2393392280534	73.68003025389707	1038.7744149407313	637.0969998426201	C1
267.3581787528668	64.49308789059593	1348.3123175855003	570.8628256724542	C1
292.1044719543546	64.23751815377231	1362.019997961444	681.9134187366561	C1
180.82840802052974	48.820019641638804	1011.4687775396208	631.5890329707381	C2
190.58685388689767	67.94506523053181	894.8156202869627	688.3582468013528	C2
177.68879558192643	60.05326136471833	1274.1864238332664	728.20771040575	C1
213.54987752228902	68.11433603697853	1342.7727226693682	650.4390155653284	C1
221.2970921006223	48.390894041018186	901.4339289727768	575.2523491654216	C2
261.77463022028655	76.41450962527794	1262.917298584848	773.637137289629	C1
296.29915525671925	42.01042560653186	1427.036290788399	576.289293597313	C2
205.05111422349987	58.79751769971374	1459.2889902864163	773.7082057591059	C1
224.37279278718307	67.4164488133483	1116.909471677616	728.1344901857155	C1
279.3622177380568	56.33791451648192	1215.0924188502097	567.1827397836947	C1
259.8750273092403	52.17068624386346	1243.690042862699	700.5312970500282	C1
284.40564305189673	67.43704364342433	1275.9262568213175	581.9650273169556	C1
179.24582309129093	53.84991588023941	1397.3952626337414	737.1629730198857	C1
169.82215876956872	62.42396134392913	1359.0512562032065	721.2251872135065	C1
287.1606213053926	72.66093774238816	1260.2268090494509	652.4532969913736	C1
224.15543581541286	60.909951202426235	1483.0182968124036	689.0921017471305	C1
183.50156891449919	48.36497087188927	1336.8805623564144	671.6484540945862	C2
225.6556733648323	73.08894876761968	814.5281028477459	617.2708527110041	C1
298.4388660880312	57.22507260376396	908.4825015896216	687.7881643290477	C2
168.91881279441417	54.39312063033245	1252.4187471895918	619.8748244245876	C1
209.63531491995434	53.09374568508947	911.3187693103122	583.4311933533426	C1
210.1588200865743	58.49161337466709	1312.5560956595293	736.5444654591049	C1
259.1287031333237	49.84295465573661	1333.6605186867757	602.6221925644182	C2

Рисунок 3.5 – Результат обработки экспериментальных данных

Как было отмечено ранее, дерево принятия решений состоит из листков и узлов. Для того чтобы просмотреть интересующий лист или узел дерева принятия решения, необходимо курсором мыши нажать на него. В результате данного выбора узла появятся параметры данных, по которым наглядно будет прослеживаться количество качественной или некачественной продукции.

Для демонстрации работы данного алгоритма приведем пример. Как можно видеть из рисунка 3.3, узел P4 характеризует качество выпускаемой продукции ЗАО «Мегапласт», а листы, соответствующие P1, подразделяют продукцию на качественную (годную – C1) и некачественную (брак – C2). На рисунках 3.6, 3.7 отображены результаты работы алгоритма по выявлению качества деталей, т.е. листы C1, C2.

P1	P2	P3	P4	Class
197.77037831825365	43.651408999537	1330.5570239532065	765.6083820404681	C2
268.4577021503556	44.91962112393166	1487.9232855749106	707.7321135649723	C2
180.82840802052974	48.820019641636804	1011.468775396208	631.5890329707381	C2
221.2970921006223	48.390894041018186	901.4339289727768	575.2523491654216	C2
296.29915525671925	42.01042560653186	1427.0362990788399	576.2892993597313	C2
183.5015691449919	48.36497087188927	1336.8805623564144	671.6484540945862	C2
259.1287031332327	49.84295465573661	1333.6605186867757	602.6221925644182	C2
244.11751185705603	48.04047714679486	871.5752610390981	770.7243522767992	C2
236.2405107783381	44.44862874971561	1450.8910412962766	571.0800110048071	C2
202.54861273285889	46.3559275976363	1232.69603204033	719.2266556426179	C2
238.60293254745346	48.25852097241011	952.8145853101714	574.8737754173426	C2

Рисунок 3.6 – Лист, отображающий некачественную продукцию (C2)

P1	P2	P3	P4	Class
238.2727490628013	68.19848984047496	899.6014749873862	612.562319662568	C1
200.3491783189949	53.54534948271218	954.0397306433517	682.2619527324171	C1
206.72745096314782	65.77710909255077	851.0596497841109	558.5481848153712	C1
230.04795895722214	51.83518163601803	1024.51758262053	610.6485318626691	C1
209.2383392280534	73.88003025399707	1038.7744149407313	637.0969998426201	C1
224.37279278718307	67.4164488133483	1116.909471677616	728.1344801857155	C1
225.6556733648323	73.08894876761968	814.5281028477459	671.2708527110041	C1
209.63531491995434	53.09374568508947	911.3187693103122	563.4311933533426	C1
252.97709016398184	51.61642348490833	1066.627171087855	653.52856878889	C1
204.24109532159878	68.78868924200479	1013.7145098534453	590.308863990221	C1
201.15718492989802	65.85087118037077	1090.8949748695823	646.3853258056319	C1
212.62590111047638	68.72225611448909	1054.9948382499813	663.650328608189	C1
257.01369110988605	58.48436166978001	833.1333467051531	743.2403180058886	C1
208.82357560320207	74.53386309233491	843.51752389814	633.9463852945614	C1
232.83426304676004	63.982438168370095	973.1053586968283	565.5237871805894	C1
239.97348853540728	60.39351774149444	826.3890933583582	689.7100631199897	C1
238.09539273442786	75.9338203905043	969.71402259385	621.6070784435323	C1
249.17647421799326	59.99382185322157	836.7386216337945	768.8317911522267	C1
209.8452042790788	57.273239735627655	920.630869672282	778.5337800945008	C1
201.7105206174572	52.4664241742197	877.100893503058	677.2719315654995	C1

Рисунок 3.7 – Лист, отображающий качественную продукцию (C1)

На рисунке 3.8 продемонстрирован процесс анализа экспериментальных данных $P_x = (P1-100, P2-48, P3-1200, P4-800)$. Осуществляем переход от узла к узлу в соответствии с правилами, указанными на ребрах. Попадаем в лист. Дерево возвращает ту метку класса, которая содержится в листе. В данном случае использовались условия, соответствующие верхней правой ветви, выделенной на рисунке 3.8 жирной линией.

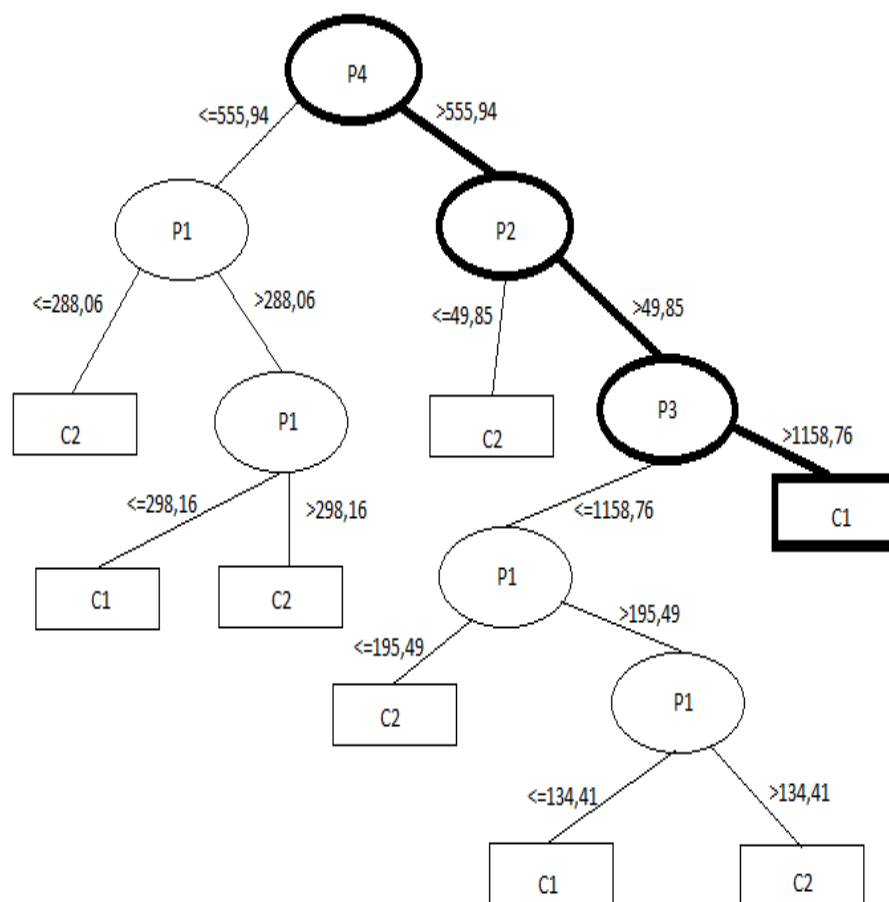


Рисунок 3.8 – Процесс анализа экспериментальных данных

Таким образом, данный алгоритм построения дерева классификации позволяет:

1. определить количество качественной и некачественной продукции предприятия;
2. определить сбои в работе участка ТПА;

3. реализовать алгоритм построения классификатора на основе результатов анализа исходных данных;
4. реализовать алгоритм классификации объектов, основанный на экспериментальных данных;
5. оценить модель при помощи статистических тестов, что, в свою очередь, дает возможность оценить надежность используемой модели;
6. работать с большим объемом информации без специально подготовленных процедур;
7. преобразовать исходные данные из xslx-файла и обеспечить их просмотр в приложении;
8. сохранить результаты анализа экспериментальных данных в xslx-файл.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как показывает повседневная практика, автоматизация систем автоматического управления оборудования играет большую роль в производстве современной продукции. Номенклатура производимой продукции любого действующего предприятия расширяется с каждым годом, а, следовательно, у предприятий возникает необходимость в наращивании ресурсов для работы оборудования.

Таким образом, актуальность данной работы обусловлена необходимостью совершенствования управления технологическими процессами, которые, в свою очередь, позволят повысить производительность труда на предприятии, улучшить качество производимой продукции, а также повысить уровень безопасности на производстве.

В первом разделе квалификационной работы был проведен анализ технологического процесса литья под давлением при изготовлении изделий, предназначенных для интерьера и экстерьера автомобильной промышленности. Из него было выявлено, что главной проблемой литья является превышение уровня брака. Это может быть обусловлено тем, что на технологический процесс литья воздействует множество факторов, которые принято называть возмущающими воздействиями. Такие воздействия неблагоприятно сказываются на параметрах системы автоматического управления, что приводит к появлению дефектной продукции.

Для более рационального решения проблемы был разработан алгоритм диагностики качества выпускаемых изделий из пластмасс, основанный на методе CART.

Алгоритм основан на построение дерева классификаций, или же дерева принятия решений. Основной идеей построения данного дерева является разбиение всего пространства признаков на области разного размера.

Алгоритм диагностики осуществляется на основе экспериментального литья заготовок в стандартном режиме параметров станка. При этом для

каждого периода литья измеряются характеристики данных. Таким образом, для каждого экспериментального литья получают столбец значений, в котором зафиксирован результат анализа данных.

На основе данного анализа строится дерево решений, состоящее из узлов (P1, P2, P3, P4) и листов (C1, C2).

Для проведения тестирования данного алгоритма были взяты экспериментальные данные литья изделия Ваз 2121 «Подкрылка для автомобиля Нива».

При тестировании алгоритма на экспериментальных данных было построено дерево классификации, которое отображает группы параметров и качество выпускаемых изделий на действующем оборудовании предприятия ЗАО «Мегапласт».

Для реализации данного алгоритма было разработано приложение для выявления качества производимой продукции на предприятии.

Разработанный алгоритм построения классификационного дерева позволяет:

1. определить количество качественной и некачественной продукции предприятия;
2. определить сбои в работе участка ТПА;
3. реализовать алгоритм построения классификатора на основе результатов анализа исходных данных;
4. реализовать алгоритм классификации объектов, основанный на экспериментальных данных.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айвазян С. А. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных. / С. А. Айвазян, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 471 с.
2. Бессокирная Г. П. Статистические методы и анализ данных // Социология: 4М. № 16, 2003. – С. 25–35.
3. Брагина Т. И., Табунщик Г. В. Классификация моделей итеративной разработки программного обеспечения // Материалы всеукраинской научно-практической конференции «Системный анализ. Информатика. Управление», №7, 2010. – С. 23–25.
4. Бринк Хенрит, Машинное обучение / Хенрик Бринк, Джозеф Ричардс, Марк Феверолф. – СПб.: 2017. – 336с.
5. Горлушкина Н.Н., Задачи и методы интеллектуального анализа образовательных данных для поддержки принятия решений / Н.Н. Горлушкина, И.Ю. Коцюба, М.В. Хлопотов // Образовательные технологии и общество, Т.18, № 1, 2015. – С. 472-482.
6. Грешилов А.А. Математические методы принятия решений / А.А. Грешилов – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 583с.
7. Иванова Л.А. Теория и практика литья под давлением алюминиевых сплавов / Л.А. Иванова, В.В. Мацийчук ОНПУ. – Одесса: Полиграф – 2005. – 214с.
8. Ефимычев Ю.И., Прохоров И.И., Святкин Б.К. Корреляционный анализ факторов плотности отливок под давлением // Литейное производство, №3, 1971. – С. 24.
9. Кафтанников, И.Л. Особенности применения деревьев решений в задачах классификации / И.Л. Кафтанников, А.В. Парасич // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника», Т. 15, № 3, 2015. – С. 26–32.
10. Кожевников А.В., Применение методов машинного обучения в рамках прогнозирования состояния электромеханических систем прокатного произ-

водства / А.В. Кожевников, И.С., Илатовский, О.И. Соловьева//Вестник Череповецкого государственного университета №1, 2017. С. 33–39.

11. Крейцер А.А. Литье под давлением: современные достижения и тенденции развития. // Оборудование и инструмент для профессионалов, № 10, 2004. – С. 46.

12. Ларичев О.И. Качественные методы принятия решений. Вербальный анализ решений / О.И. Ларичев, Е.М. Мошкович. – М., 1996.

13. Левитин А. В. Алгоритмы: введение в разработку и анализ / А. В. Левитин М.: Вильямс, 2006. – 575 с.

14. Михеев М.Ю. Использование систем поддержки и принятия решений для моделирования профессиональной деятельности специалиста в процессе практико-ориентированного обучения / М.Ю. Михеев, А.В. Новиков, И.Ю. Сёмочкина // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». Пензенский государственный университет. №2, 2009. – С. 174-175

15. Тихонов А.Н. Цветков В.Я. Методы и системы поддержки принятия решений / А.Н. Тихонов, В.Я. Цветков – М.: МАКС Пресс, 2001. – 312с.

16. Шахиди А. Деревья решений — общие принципы работы, 2006. Технологический анализ данных [Электронный ресурс]: математический сайт: <http://www.basegroup.ru/library/analysis/tree/description/>

17. Breiman L., Friedman J., Olshen R., Stone C. Classification and Regression Trees. – Wadsworth, 1983. – 232 P.

18. Melnikov G.A. Ant Colony Based Semi-Greedy Algorithm for Regression Tree Induction / G.A. Melnikov, V.V. Gubarev // Proceedings of the 8-th international forum on strategic technology 2013, Mongolia, Ulaanbaatar, Vol. II, 2013. – P. 238–240

19. Quinlan, J. R. Induction of Decision Trees // Machine Learning. Kluwer Academic Publishers. 1986. № 1. P. 81–106

20. Quinlan J.R. C4.5: Programs for Machine learning // Morgan Kaufmann Publishers. 1993.

21. Jolliffe, I.T. *Principal Component Analysis* / I.T. Jolliffe. – 2nd edition. – New York: Springer, 2002. – 487 p.
22. Quinlan R. *C4.5: Programs for Machine Learning*. Morgan Kaufmann, 1993.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Класс для работы с параметрами категориального типа

```
package com.user.id3.data;
public class CatParam <T>{
    private T value;
    private String type;

    public CatParam(T value, String type) {
        this.value = value;
        this.type = type;
    }

    public T getValue() {
        return value;
    }

    public String getType() {
        return type;
    }
}
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Класс для работы с данными обучающей выборки

```
package com.user.id3.data;

import com.user.id3.workWithFiles.WorkWithExcel;
import com.user.id3.xss.Sheet;
import com.user.id3.xss.Workbook;
import javax.swing.JTable;

public class Data {
    private Workbook workbook;
    private Sheet sheet;
    private TransactionsHeap transactions;

    public Data() {
        workbook = new Workbook(WorkWithExcel.getXSSFWorkbook());
        sheet = workbook.getSheet(0);
        transactions = sheet.getTransactions();
    }

    public TransactionsHeap getTransactions() {
        return transactions;
    }

    public JTable getTable(){
        return transactions.getTable();
    }
}
```

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Класс расчета оптимального разбиения для каждого узла дерева

```
package com.user.id3.data;

public class Entrop {
    private String param;
    private double entrop;

    public Entrop(String param) {
        this.param = param;
    }

    public Entrop(String param, double entrop) {
        this.param = param;
        this.entrop = entrop;
    }

    public String getParam() {
        return param;
    }

    public void setParam(String param) {
        this.param = param;
    }

    public double getEntrop() {
        return entrop;
    }

    public void setEntrop(double entrop) {
        this.entrop = entrop;
    }
}
```

