

УДК 664.951.022.6.002.5

UDC 664.951.022.6.002.5

**МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА
АДАПТАЦИИ ПРОЦЕССА
ФИЛЕТИРОВАНИЯ РЫБЫ К
СВОЙСТВАМ СЫРЬЯ****MODELING OF THE ALGORITHM OF
ADAPTATION PROCESS OF FISH FILLETING
TO CHARACTERISTICS OF FISH RAW**

Фатыхов Юрий Адгамович
д. т. н., профессор

Fatykhov Yury Adgamovich
Dr. Sci. Tech., professor

Агеев Олег Вячеславович
инженер, соискатель

Ageev Oleg Vyacheslavovich
engineer, competitor

*Калининградский государственный технический
университет, Калининград, Россия*

*Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad,
Russia*

Показана актуальность исследований моделей и алгоритмов адаптивного управления процессом филетирования рыбы. Предлагается структура адаптивной системы автоматического управления филетирующим оборудованием, включающая эстиматор в виде последовательного статистического анализатора и адаптатор в виде автомата с линейной тактикой. Предложена упрощенная рекуррентная модель алгоритма адаптации, предназначенная для проведения статистических испытаний методом Монте-Карло, изложены результаты моделирования.

The urgency of models and algorithms of adaptive control of fish filleting process researches has been shown. The structure of adaptive automatic management system of filleting equipment, including estimator in the form of consequent statistical analyzer and adaptator as a linear tactic automaton, is offered. The lite recurrent model of adaptation algorithm for statistical tests by Monte-Carlo method and results of modeling is offered, modeling results were stated.

Ключевые слова: ФИЛЕТИРОВАНИЕ РЫБЫ, АЛГОРИТМ АДАПТАЦИИ, ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ, АВТОМАТ С ЛИНЕЙНОЙ ТАКТИКОЙ, МЕТОД МОНТЕ-КАРЛО.

Keywords: FISH FILLET PROCESS, ALGORITHM OF ADAPTATION, CONSEQUENT STATISTICAL ANALYSIS, LINEAR TACTIC AUTOMATON, MONTE-CARLO METHOD.

В современных условиях рыбные ресурсы являются ценным сырьем для пищевой, медицинской, биохимической и технической продукции. Общемировое повышение требований к качеству пищевых продуктов приводит к тому, что наиболее экономически целесообразным и востребованным является производство бескостного рыбного филе.

В связи с этим, предъявляются высокие требования к качеству филетирования рыбы, совершенствуются методы хранения и транспортирования рыбы. Вместе с тем, особое значение приобрела задача внедрения малоотходной и безотходной технологии обработки рыбы. Существенно возрастают требования к экологической безопасности рыбообделочных производств. В настоящее время должны приниматься все меры для предотвращения загрязнения окружающей среды.

Ресурсосберегающая технология обработки рыбы должна предусматривать экономию сырья, материалов и энергоресурсов в начале технологического процесса, а также снижение количества отходов в конце процесса [1]. Задачами ресурсосбережения являются: снижение потерь сырья и энергии в процессе обработки рыбы, сбор и обработка отходов для последующего повторного использования или передачи в другие отрасли хозяйства, организация внутренней регенерации и рециркуляции воды, утилизация полезных веществ из сточных вод.

Эффективным средством механизации и автоматизации технологических процессов филетирования рыбы, обладающим большой гибкостью и удовлетворяющим требованиям по ресурсосбережению, является **модульно-агрегатированное оборудование на основе мехатроники**. На базе такого оборудования могут быть созданы рыбоделочные линии с компьютерным управлением, в состав которых, помимо разделочно-филетировочного оборудования (РФО), входят модули для загрузки рыбы, мойки, сортировки, посола, замораживания, фасования, упаковки и т.д.

Следует отметить, что построение РФО на основе мехатроники позволяет решить важнейшую задачу для обеспечения качества готового филе – **инспекционное видение**. Эффективное и надежное решение этой задачи связано с применением систем технического зрения и облегчается тем, что наблюдаемая сцена (готовое рыбное филе на операционном конвейере) хорошо организована [2]. В частности, уверенное выявление остаточных костей в филе обеспечивает автоматизированная система “SensorX” фирмы Marel (<http://www.marel.com/products/fishindustry/ProductID/91/>). Рыбное филе и обнаруженные в нем кости отображаются на цветном дисплее микроЭВМ, входящей в состав данной системы. Остаточные кости распознаются и выделяются цветом для привлечения внимания оператора, при этом информация о наличии костей передается в

систему учета, в которой документируется процесс инспекции филе. Система “SensorX” позволяет инспектировать 45 филе в минуту, при этом максимальная длина филе составляет 450 мм, минимальный диаметр костей - 0,3 мм, минимальная длина костей - 4 мм.

При правильном выполнении филетирования готовый продукт должен удовлетворять определенным показателям качества. Оценивая качество настройки рабочих органов и сравнивая фактические показатели качества филе с заранее записанными в память микроЭВМ значениями, адаптивная система управления имеет возможность активно контролировать перемещение рабочих органов филетирующего оборудования. В связи с этим, особую актуальность имеет задача моделирования на микроЭВМ **алгоритма адаптации процесса филетирования рыбы**. При этом следует учитывать, что замкнутые системы с контуром самонастройки нелинейны, что усложняет их поведение.

Основными проблемами реализации технологических операций разделывания и филетирования рыбы являются: обеспечение экономичности вырезания костей и повышение выхода филейчиков за счет точной настройки рабочих органов на экономичный рез; точность выставления тушки на позиции обработки за счет применения прижимных устройств; повышение производительности разделочно-филетировочных модулей за счет увеличения быстродействия исполнительных механизмов; обеспечение точного измерения параметра тела рыбы (толщины, высоты или длины), расширение универсальности разделочно-филетировочных модулей с точки зрения видового состава и размерных диапазонов обрабатываемых рыб [1].

С целью максимально точной настройки режущих рабочих органов для каждого экземпляра рыбы компьютером должны определяться параметры тушки прямым или косвенным методом. По результатам

инструментальной инспекции филе должен корректироваться режим обработки для последующих тушек, а бракованное филе направляться на ручную дозачистку от костей при помощи вакуумных отсосов.

К недостаткам существующих разделочно-филетировочных устройств с механическими измерительными блоками следует отнести невысокую точность настройки рабочих органов на экономичное вырезание костей. Так как створки измерительного блока зачастую продавливают ткань рыбы, оценка толщины рыбы искажается, что может приводить к неполному вырезанию костей. Наличие механической связи между исполнительным и измерительным блоками ограничивает производительность устройств, снижает надежность работы. Отсутствие непрерывного активного контроля за наличием неудаленных костей в готовом филе существенно снижает качество готового продукта. Перенастройка программы механического исполнительного блока для настройки рабочих органов требует смены отдельных деталей, что является относительно трудоемкой операцией и ухудшает эксплуатационные характеристики оборудования.

В рамках решения данной задачи предложен ряд технических решений, которые позволяют повысить точность автоматической настройки рабочих органов рыбообрабатывающих модулей. Это осуществляется за счет применения лазерного сканирующего устройства для измерения параметров тела рыбы, а также системы технического зрения для флуоресцентного сканирования остаточных костей в филе при ультрафиолетовом облучении. Кроме того, разработаны предложения по упрощению кинематических схем разделочно-филетировочных устройств, повышения их быстродействия за счет применения шаговых двигателей с цифровым управлением [3, 4, 5]. Функциональная схема и описание работы рассматриваемого устройства для филетирования рыбы изложены в [3, 6].

Промышленные исследования точных обмерных данных рыб показывают, что зависимость между длиной тушки и толщиной хребтовой кости для основных промысловых видов рыб может быть выражена в первом приближении линейной характеристикой:

$$X = b \cdot L + X_0, \quad (1)$$

где X - искомая толщина хребтовой кости; L - длина тушки рыбы; b , X_0 - коэффициент наклона характеристики (1) и постоянный член, соответствующие определенному виду рыбы.

Сезонные изменения в параметрах тела рыбы обуславливают статистический разброс **коэффициента наклона характеристики b** . Вследствие данного статистического разброса возможно неполное удаление хребтовой кости из филе, что свидетельствует о статистической ошибке априорного определения коэффициента b .

На рисунке 1 графически изображена зависимость толщины хребтовой кости X от длины рыбы L для скумбрии. На рисунке 1 также приведено уравнение аппроксимирующей линии (уравнение регрессии), коэффициенты которого определены методом наименьших квадратов. Результаты математико-статистического анализа приведены в таблице 1.

В связи с вышеизложенным, требуется применение алгоритма адаптации для устранения ошибок управления, возникших из-за неточной априорной идентификации модели (1) методом наименьших квадратов.

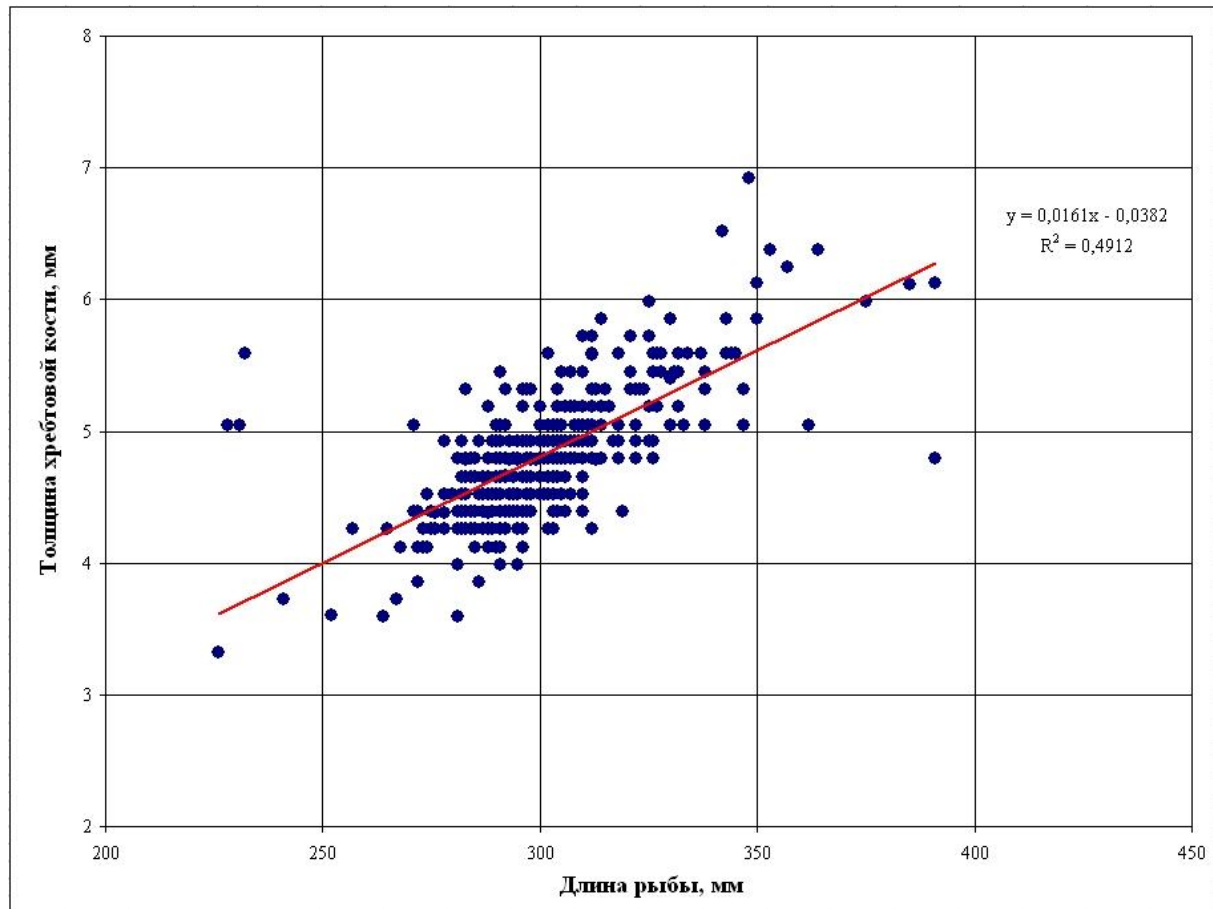


Рисунок 1 – Графическая зависимость толщины хребтовой кости от длины рыбы (для скумбрии)

Цель адаптации режима филетирования рыбы заключается в минимизации количества остаточных костей в готовом филе:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} N_{\text{остаточные}}(k) \rightarrow 0, \quad (2)$$

где $N_{\text{остаточные}}$ - количество остаточных костей в филе, k - номер технологического цикла.

Для реализации режима параметрической адаптации система автоматического управления должна включать алгоритмы оценки параметров регулирования (эстиматор) и конструирования коррекции для управления (адаптатор).

Таблица 1 – РЕЗУЛЬТАТЫ МАТЕМАТИКО-СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЗАВИСИМОСТИ ТОЛЩИНЫ ХРЕБТОВОЙ КОСТИ ОТ ДЛИНЫ РЫБЫ (ДЛЯ СКУМБРИИ)

Количество измерений параметров тела рыбы: 400	Длина рыбы L , мм	Толщина хребтовой кости X , мм	Коэффициент наклона характеристики b
Среднее арифметическое	301,65	4,83	0,0160
Среднее абсолютных значений отклонений точек от среднего	14,90	0,36	$8,4 \cdot 10^{-4}$
Наибольшее значение	391	6,92	0,0241
Наименьшее значение	226	3,32	0,0123
Эксцесс	3,27	1,62	7,79
Асимметрия распределения	0,63	0,66	1,46
Стандартное отклонение	21,12	0,49	$1,2 \cdot 10^{-3}$
Дисперсия	446,24	0,24	$1,4 \cdot 10^{-6}$
Размах наибольшего от среднего арифметического	89,35	2,09	0,0081
Размах наименьшего от среднего арифметического	75,65	1,51	0,0038
Средний размах от среднего арифметического	82,50	1,80	0,0059

В соответствии с [7] один из способов автоматизации моделирования и конструирования системы управления можно представить в виде следующей общей последовательности операций: выбор подходящих коэффициентов модели, оценка значения ее параметров с помощью рекурсивных методов, построение закона управления по полученным оценкам.

В том случае, если параметры регулятора или программатора изменяются адаптатором путем изменения параметров модели (1) в результате оценки эстиматором качества регулирования, то имеет место неявная схема адаптивного регулирования по эталонной модели [7]. При этом чаще используется теория нелинейного стохастического управления, согласно которой система и внешние воздействия описываются некоторой стохастической моделью [7]. При этом цель управления состоит в

минимизации математического ожидания функции потерь филе от брака, являющейся скалярной функцией от переменного состояния и управления.

Требованиям поддержания качества готового филе наиболее удовлетворяет иерархическая структура управления технологическим процессом филетирования (рисунок 2). На рисунке 2 приняты следующие сокращенные обозначения: ПРГ – программатор, Р – регулятор, ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь, УМ – усилитель мощности, ШД – шаговый двигатель, РО – рабочий орган, ОО – объект обработки, Ф – филе, ЛС – лазерный сканер, АЦП – аналого-цифровой преобразователь, ДП – датчик положения, СТЗ – система технического зрения, ГП – графический процессор, ЭСТ – эстиматор, А – адаптатор, ЭМ – массив эталонных моделей, N – количество костей в филе, L – длина тушки, φ – значение угла поворота шагового двигателя позиционера.

К **первому уровню** адаптивной системы управления (рисунок 2) принадлежит следящая система автоматического контроля и управления, обеспечивающая инвариантность параметров, определяющих точность филетирования к текущим изменениям свойств рыбного сырья за счет лазерного сканирования длины или высоты каждой тушки и управления позиционированием рабочего органа [4, 5].

Второй уровень управления в общем случае обеспечивает координацию работы локального программатора и параметрическую адаптацию режима филетирования к свойствам сырья (физико-механические и геометрические параметры рыбы) и состоянию оборудования (точность ориентирования и фиксации рыбы внутри машины, степень износа рабочих органов, характер биений рабочих органов). Эта задача может решаться автоматически и при помощи оператора в диалоговом режиме с использованием алгоритма нечеткого управления на основе результатов оперативных измерений (флюоресцентного сканирования филе для выявления остаточных костей),

органолептической оценки (визуальное выявление количества остаточных костей, внешний вид филе, внешний вид отходов, чистота резания).

В рамках настоящей работы задача упрощенного алгоритма адаптации настроек программатора к свойствам рыбного сырья состоит в коррекции коэффициента b уравнения (1) таким образом, чтобы свести к минимуму рассогласование между заданными параметрами процесса и фактическим качеством филетирования для каждого вида сырья, поступающего на вход филетировочного устройства. Решение этой задачи связано с контролем показателя качества готового продукта и может быть достигнуто использованием дискретного рекуррентного адаптивного алгоритма управления позиционированием рабочего органа по программе, корректируемой по количеству обнаруженных остаточных костей в готовом филе в процессе филетирования.

Алгоритм адаптации в общем виде описывается следующей системой соотношений:

$$t(t) = t_k ; t \in (t_k, t_{k+1}); t_{k+1} = \bar{t}_k + e ; \quad (3)$$

$$t_{k+1} = t_k + A (Q_{\text{остаточных}}(\bar{t}_k)); k=0,1,2,\dots \quad (4)$$

где t_0 - произвольный начальный параметр управления, соответствующий текущему значению качества процесса филетирования $Q_{\text{остаточных}}$; \bar{t}_k - первый момент появления информации от эстиматора о необходимости коррекции (или о нормальном протекании процесса) при $t_0 = t_k, t \geq t_k$; e - время, необходимое для вычисления нового значения параметра управления t_{k+1} в соответствии с (4) по имеющейся к моменту \bar{t}_k информации от эстиматора о качестве филетирования $Q_{\text{остаточных}}(\bar{t}_k)$; A - оператор адаптации, реализуемый адаптатором.

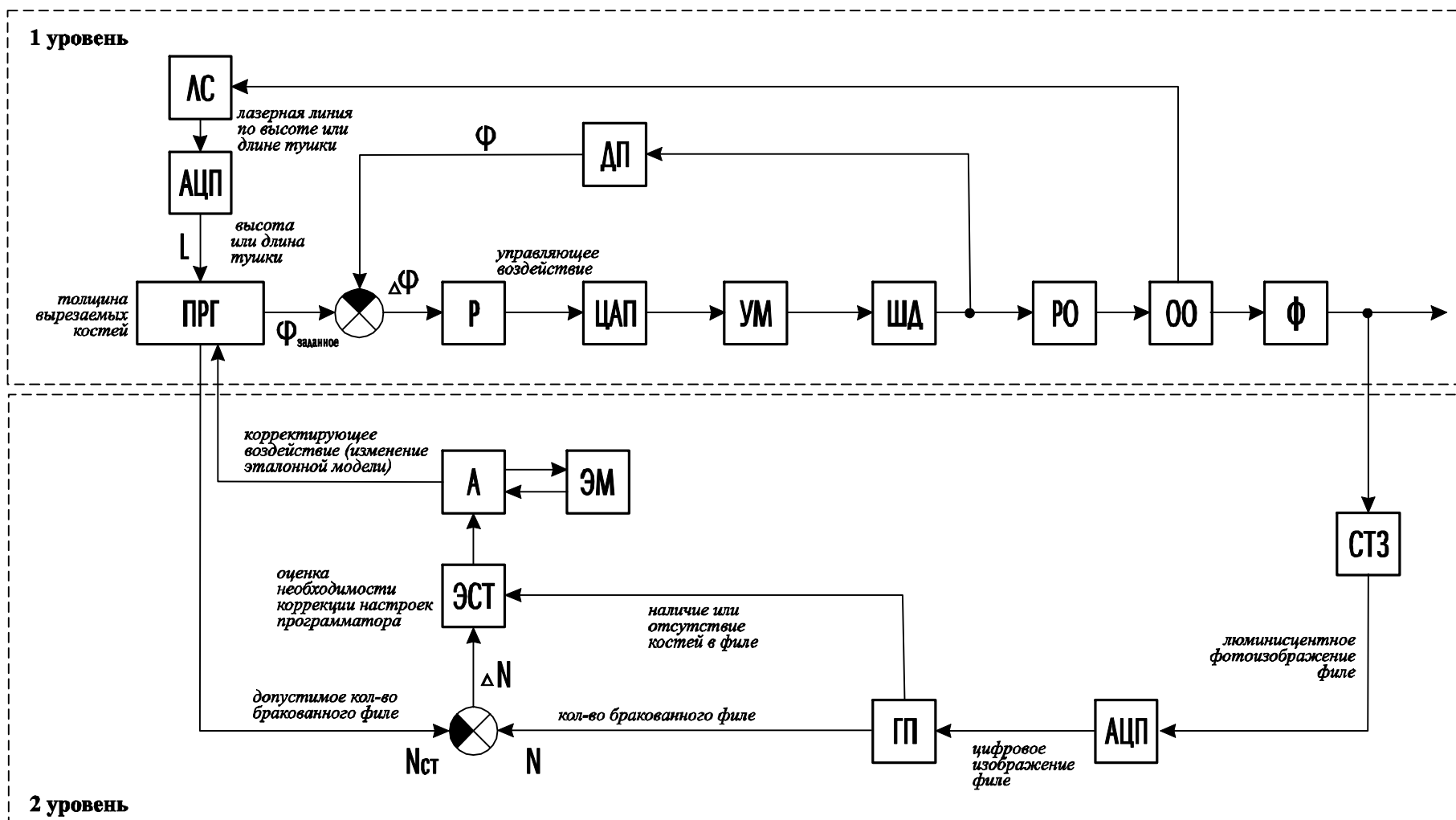


Рисунок 2 – Блок-схема адаптивной системы управления устройством для филетирования рыбы

Оператор адаптации A , получая на входе информацию о реакции среды $Q_{\text{исходная}}(\bar{t}_k)$, состоянии t_k , цели (2) и ресурсах системы управления (массивы эталонных моделей для различных видов рыбы, методов обработки ситуаций, правил и шаблонов поведения, возможных ситуаций филетирования), выдает на выходе корректирующее воздействие для параметра управления t_k , с помощью которого возможно достичь цели (2) и перевести объект управления (филетирующую машину) в искомое состояние, соответствующее выполнению заданной цели (2) в рамках ресурсов системы управления.

При этом необходимо отметить, что информация о влиянии коэффициента b в выражениях (1) на качество процесса филетирования $Q_{\text{исходная}}(\bar{t}_k)$ носит вероятностный характер по вполне объективным причинам: информация по основным промысловым видам рыб носит статистический характер; собранная информация может неадекватно отражать состояние тушки рыбы в текущий момент времени или даже в отдельных случаях быть противоречивой. Если также учесть тот факт, что объект обработки и среда обработки являются достаточно сложными объектами в плане диагностики их состояния и управления, можно сделать вывод о том, что классические методы параметрического управления, основанные на детерминированном подходе малоприменимы для синтеза оператора адаптации.

В связи с этим, предлагается строить эстиматор в виде **статистического анализатора с использованием метода последовательного анализа**. Адапатор предлагается строить в виде **автомата с линейной тактикой**. Конструкция и принцип функционирования автомата с линейной тактикой предложены М.Л. Цетлиным [8].

Задача статистического контроля качества рыбного филе может быть сведена к проверке следующей гипотезы. Вероятность P появления в партии бракованного филе с остаточными костями не превышает заданной величины P_1 . Увеличение вероятности появления бракованного филе в готовом продукте обусловлено смещением центра кривой распределения, а также увеличением дисперсии [9]. Если условно принять нормальный закон распределения, при выполнении условия $P \leq P_1$ должно выполняться неравенство:

$$\frac{1}{\sqrt{2ps}} \int_{-d}^{+d} e^{-\frac{(X-q)^2}{2s^2}} dx \geq 1 - P_1, \quad (5)$$

где $\pm d$ - допусковые границы отклонения; q - смещение центра распределения; s - стандартное отклонение, X - условная непрерывная величина, зависящая от размеров и количества остаточных костей в филе.

Из неравенства (5) следует, что существует граница области допустимых значений q и s , на которой $P = P_1$. Такая граница определяется из уравнения:

$$2 - \left[\Phi_0\left(\frac{d-q}{s}\right) + \Phi_0\left(\frac{d+q}{s}\right) \right] = P_1, \quad (6)$$

где Φ_0 - функция Лапласа.

Для проверки гипотезы о том, что $P \leq P_1$, целесообразно использовать последовательный критерий отношения вероятностей Вальда [9]. Данный критерий является оптимальным по среднему значению выборки и позволяет при заданных вероятностях ошибок первого и второго рода (g и h), а также заданных вероятностях появления

бракованного филе, при которых процесс филетирования рыбы считается нормальным (P_0) или процесс требует коррекции (P_1), построить алгоритм принятия одного из трех нижеследующих решений [9].

Первое решение. Если $m < h_0 + nS$, то процесс признать нормальным (формируется сигнал “*Норма*”).

Второе решение. Если $m \geq h_1 + nS$, то скорректировать процесс (формируется сигнал “*Коррекция*”).

Третье решение. Если $h_0 + nS < m < h_1 + nS$, то продолжить накопление информации (формируется сигнал “*Продолжить измерения*”).

Приняты следующие обозначения: m - количество бракованного филе; n - общее количество филе;

$$h_0 = \frac{\ln \frac{h}{1-g}}{\ln \frac{P_1}{P_0} + \ln \frac{1-P_0}{1-P_1}}; \quad (7)$$

$$h_1 = \frac{\ln \frac{1-h}{g}}{\ln \frac{P_1}{P_0} + \ln \frac{1-P_0}{1-P_1}}; \quad (8)$$

$$S = \frac{\ln \frac{1-P_0}{1-P_1}}{\ln \frac{P_1}{P_0} + \ln \frac{1-P_0}{1-P_1}}. \quad (9)$$

Граф автомата с линейной тактикой показан на рисунке 3. Количество “лепестков” на графе автомата соответствует количеству действий, доступных автомату. В каждом “лепестке” выделяется несколько устойчивых состояний – вершин графа (на рисунке 3 показаны по четыре состояния), в которых может находиться автомат. В любом из состояний, образующих какой-либо “лепесток” графа, автомат выдает

действие, соответствующее данному “лепестку”. Количество состояний автомата в “лепестке” является глубиной памяти автомата.

Изменение состояний автомата происходит под воздействием двоичных сигналов оценок за действия, поступающих от внешней среды. При поступлении сигнала “Штраф” происходит изменение состояния автомата, показанное на рисунке 3 пунктирными стрелками. При поступлении сигнала “Не_Штраф” состояние автомата изменяется в соответствии со сплошными стрелками на рисунке 3. При поступлении сигналов оценок “Не_Штраф” автомат переходит к внешнему краю “лепестка”. Если достигнуто последнее состояние в “лепестке” (вершины S4, S8, S12), то автомат остается в нем. При поступлении сигналов оценок “Штраф” автомат двигается в центре графа, и в определенный момент происходит смена “лепестка” из вершин S1, S5, S9.

Структура автомата с линейной тактикой может быть задана в виде двух матриц (матриц инцидентий), определяющих смену состояний при получении сигналов “Не_Штраф” и “Штраф”. Каждая такая матрица содержит по 12 строк и 12 столбцов, при этом в каждой строке матриц имеется единица, показывающая, как осуществляется переход между вершинами графа автомата (рисунки 4, 5).

При построении адаптатора в виде автомата с линейной тактикой целесообразно принять в качестве действий автомата присвоение переменной b в выражении (1) различных числовых значений. Сигналу оценки “Не_Штраф” соответствует сигнал “Норма” от статистического анализатора, выполняющего функции эстиматора. Сигналу оценки “Штраф” соответствует сигнал статистического анализатора “Коррекция”. При поступлении от статистического анализатора сигнала “Продолжить измерения” состояния автомата не изменяется.

В таком случае блок-схема упрощенного алгоритма адаптации имеет вид, показанный на рисунке 6. Следует отметить, что партия рыбы со

случайными значениями b , лежащими в пределах некоторого допуска (см. таблицу 1), формально является для автомата с линейной тактикой стационарной случайной средой. Существенное изменение b при обработке различных партий рыбы формально является для автомата переключением стационарных случайных сред. При этом технический процесс загрузки различных партий рыбы в филетирующую машину формально является коммутатором стационарных случайных сред, реализующим случайное переключение.

Свойства алгоритма адаптации удобнее исследовать на ПЭВМ при помощи упрощенной статистической модели, позволяющей по различным входным значениям параметров алгоритма получать соответствующие значения выходных параметров. Возможные отклонения значений входных параметров при этом формируются при помощи датчика случайных чисел. Моделирование целесообразно проводить на основе метода статистических испытаний (метода Монте-Карло). Общая схема моделирования алгоритма адаптации процесса филетирования в виде процедурной последовательности приведена на рисунке 7.

Моделирование методом Монте-Карло выполняется в следующей обобщенной последовательности:

- датчиком случайных чисел генерируются псевдослучайные значения входных параметров алгоритма адаптации (разыгрывание случайных величин);
- в упрощенной форме воспроизводится работа алгоритма адаптации при сформированных псевдослучайных значениях на входе, рассчитываются значения выходных параметров, причем значения входных и выходных параметров принимаются как детерминированные;

- отображаются результаты моделирования, проводится анализ результатов моделирования алгоритма адаптации после выполнения серии из N статистических испытаний.

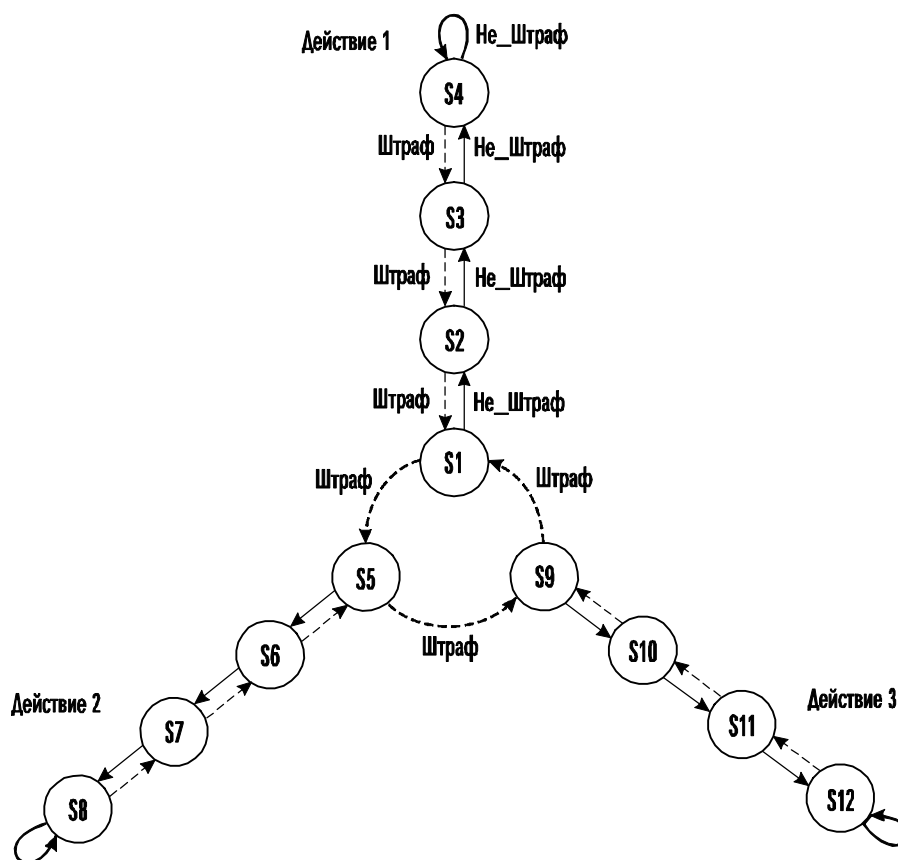


Рисунок 3 – Граф автомата с линейной тактикой

В программном блоке 1 (рисунок 7) оператором задаются априорные значения параметров модели алгоритма адаптации. Такими параметрами являются: среднее значение длины рыбы; значение вероятности ошибки первого рода; значение вероятности ошибки второго рода; вероятность появления брака, при которой процесс филетирования считается нормальным; вероятность появления брака, при которой процесс требует коррекции; координата начального положения режущего инструмента; среднее значение коэффициента наклона характеристики b .

В блоке 2 на основе закона **равномерного распределения** для одного статистического испытания выполняется разыгрывание случайных значений следующих параметров модели: текущего значения коэффициента наклона характеристики b ; текущего значения толщины хребтовой кости; текущей координаты положения режущего инструмента.

В блоке 3 с магнитного диска считывается номер вершины на графе состояний (рисунок 3), в которой в текущий момент находится автомат с линейной тактикой. Номеру вершины ставится в соответствие расчетное значение коэффициента наклона характеристики b , после чего вычисляется расчетная координата положения режущего инструмента. Расчетная координата положения режущего инструмента сравнивается с ранее разыгранной случайной текущей координатой положения рабочего органа. В результате формируется значение модельной оценки качества филетирования, то есть делается формальный вывод – бракованное филе или нормальное. В случае отрицательной оценки увеличивается на единицу счетчик общего количества бракованного филе.

В блоке 4 осуществляется расчет одной итерации последовательного статистического анализа по критерию Вальда согласно выражениям (7) - (9). В результате формируется цифровой код статистического анализатора, соответствующий ситуациям “Продолжить измерения”, “Коррекция” и “Норма”.

В блоке 5 в зависимости от значения кода статистического анализатора с магнитного диска считываются строки либо матрицы M^+ (рисунок 4), либо матрицы M^- (рисунок 5), либо состояние автомата не изменяется. Вследствие считывания строк одной из матриц изменяется номер вершины на графе состояний, в которой в текущий момент находится автомат с линейной тактикой. Таким образом, автомат

переключается в новое состояние с целью выбора адекватного значения коэффициента наклона характеристики b .

$$M^+ = \begin{array}{|cccccccccccc|} \hline 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \hline \end{array}$$

Рисунок 4 – Матрица переходов автомата с линейной тактикой при получении сигнала “Не_Штраф”

$$M^- = \begin{array}{|cccccccccccc|} \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \hline \end{array}$$

Рисунок 5 – Матрица переходов автомата с линейной тактикой при получении сигнала “Штраф”

В блоке 6 отображаются на дисплее и принтере результаты моделирования для одного статистического испытания, которые также записываются в файл на магнитном диске ПЭВМ.

В блоке 7 оператор по своему желанию изменяет среднее значение коэффициента наклона характеристики b , имитируя тем самым случайное и непредвиденное изменение характеристики рыбного сырья, к которому должен приспособливаться алгоритм адаптации.

В блоке 8 выполняется вывод на дисплей и принтер результатов моделирования для серии из N статистических испытаний, после чего в блоке 9 работа программы завершается. Результаты моделирования выводятся в виде сводной таблицы.

В блоке 10 оператор имеет возможность изменить тип автомата, задать новые матрицы инциденции, изменить глубину памяти автомата (количество вершин в одном “лепестке” графа состояний), изменить значения и количество модифицируемых параметров модели.

В листинге 1 приведен общий вид диалога ПЭВМ с оператором при моделировании алгоритма адаптации с вводом начальных условий. На рисунках 8, 9 для наглядности в графическом виде приведены результаты численного моделирования на контрольном примере для 150 статистических испытаний. Программа во время работы сохраняет результаты моделирования в текстовый файл. При этом граф автомата имеет 6 “лепестков” по 4 вершины в каждом, автомат первоначально находится в вершине № 3 ($b = 0,0100$). Условно выбранные параметры статистического анализатора и автомата с линейной тактикой, использованные в контрольном примере, приведены в таблице 2.

После начала моделирования автомат с линейной тактикой переключается в вершину № 13 после 11 статистических испытаний, то

есть выбирает адекватное значение $b = 0,0250$, при этом процесс филетирования признается эстиматором нормальным после 34 испытаний.

На шаге № 50 оператор произвольно изменил среднее значение коэффициента наклона характеристики с $b = 0,0250$ на $b = 0,0350$, имитируя непредвиденное изменение параметров рыбного сырья (на рисунках 8 и 9 это событие отмечено пиктограммой). Таким образом, для алгоритма адаптации коммутация случайных сред, а также непредвиденное изменение среды функционирования произошли на 50-м статистическом испытании. Автомат с линейной тактикой приспосабливается к этому изменению после 77 статистического испытания (через 26 измерений после неожиданного изменения параметров сырья выбирается адекватное значение $b = 0,0350$), при этом процесс филетирования признается нормальным после 100 испытаний (через 49 измерений после изменения).

Следует отметить, что **скорость приспособления алгоритма адаптации** к непредвиденным изменениям b может оптимизироваться за счет коррекции таких параметров модели, как значение вероятности ошибки первого рода, значение вероятности ошибки второго рода, вероятности появления брака, при которой процесс филетирования считается нормальным, вероятности появления брака, при которой процесс требует коррекции. При значительном количестве статистических испытаний можно показать, что общее количество бракованного филе асимптотически стремится к некоторому конечному значению (математическому ожиданию функции потерь филе от брака), которое определяется глубиной памяти автомата, а также априорными входными значениями параметров модели.



Рисунок 6 – Блок-схема упрощенного алгоритма адаптации процесса филетирования



Рисунок 7 – Схема моделирования алгоритма адаптации с использованием метода Монте-Карло (процедурная последовательность)

Таблица 2 – ПАРАМЕТРЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗАТОРА И АВТОМАТА С ЛИНЕЙНОЙ ТАКТИКОЙ

Номер “лепестка” на графе автомата	Вершины графа автомата, входящие в “лепесток”	Значение b в “лепестке” графа автомата
1	1, 2, 3, 4	0,0100
2	5, 6, 7, 8	0,0150
3	9, 10, 11, 12	0,0200
4	13, 14, 15, 16	0,0250
5	17, 18, 19, 20	0,0300
6	21, 22, 23, 24	0,0350
Вероятность появления брака, при которой процесс считается нормальным, P_0		0,3
Вероятность появления брака, при которой процесс требует коррекции, P_1		0,8
Начальное состояние автомата, вершина графа		3
Начальное расчетное значение коэффициента наклона характеристики b		0,100

Выводы

1. Предложен подход к построению упрощенной модели алгоритма адаптации процесса филетирования рыбы к свойствам сырья, включающей последовательный статистический анализатор (по критерию Вальда) и автомат с линейной тактикой. Алгоритм адаптации формально реализует так называемую последовательностную машину.

2. Предложена процедурная последовательность для исследования на ПЭВМ упрощенной модели алгоритма адаптации процесса филетирования.

3. Разработана программа для моделирования на ПЭВМ алгоритма адаптации, выполнен расчет контрольного примера.

4. Модель алгоритма адаптации и ее программная реализация на ПЭВМ создает практическую основу для создания программного обеспечения системы автоматического управления филетирующим оборудованием.

5. В модели алгоритма адаптации предусмотрено изменение параметров последовательного статистического анализа, параметров и типа автомата, что позволяет провести моделирование с целью оптимизации адаптивного управления процессом филетирования рыбы.

Листинг 1 – Пример диалога пользователя с ПЭВМ при моделировании алгоритма адаптации (3-я итерация)

Ввод начальных условий.

Вероятность появления брака, при которой процесс считается нормальным: **0.3**

Вероятность появления брака, при которой процесс требует коррекции: **0.8**

Начальная координата положения рабочего органа, мм: **5**

Среднее значение коэффициента наклона характеристики: **0.0250**

Ввод начальных условий завершен.

----- Разыгрывание #3 -----

Вероятность $P_0=0.30$.

Вероятность $P_1=0.80$.

Начальное положение рабочего органа=5.00 мм.

Среднее значение коэффициента наклона характеристики (КНХ)=0.0250.

Диапазон разыгрывания КНХ: 0.0190 – 0.0310.

Средняя толщина рыбы=300 мм.

Текущее значение КНХ=0.0196.

Текущая длина рыбы=272 мм.

Текущее положение рабочего органа=10.34 мм.

Текущий номер вершины на графе автомата=3.

КНХ автомата=0.0100.

Положение рабочего органа рассчитанное=7.72 мм.

Филе имеет остаточные кости. Общее количество брака: 3 филе. Всего филе: 3 шт.

Код стат. анализатора: “коррекция”.

Автомат переключился на вершину номер:2.

Автомат выработал новое значение КНХ=0.0100.

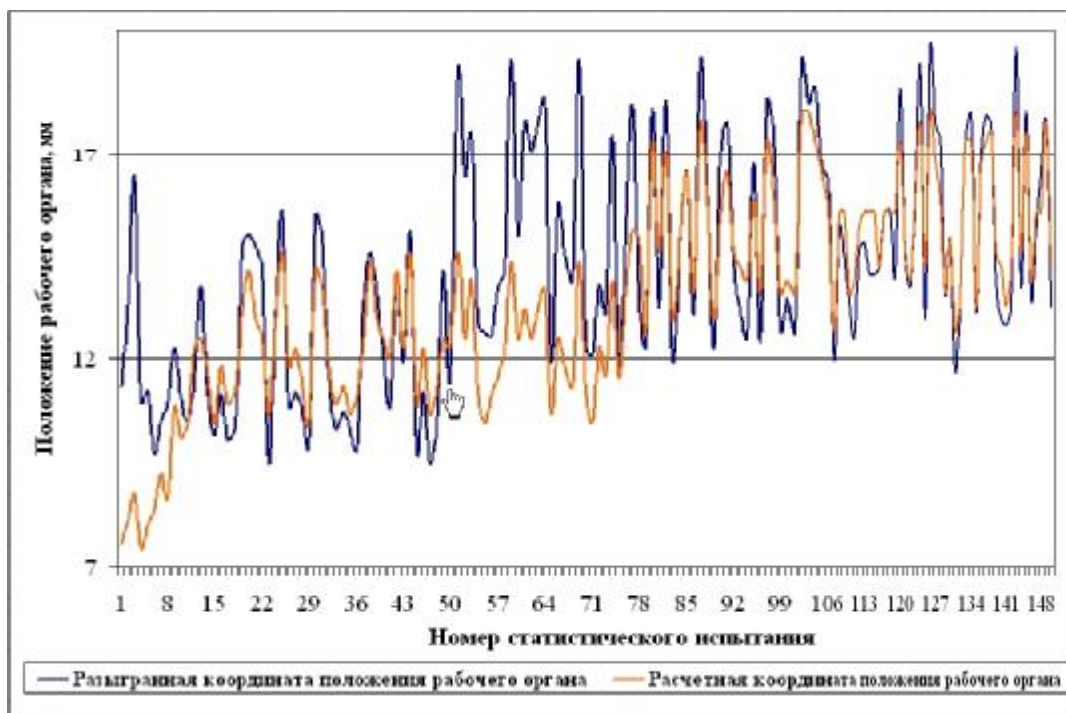


Рисунок 8 - График изменения положения рабочего органа филетирующего устройства в процессе адаптивной настройки

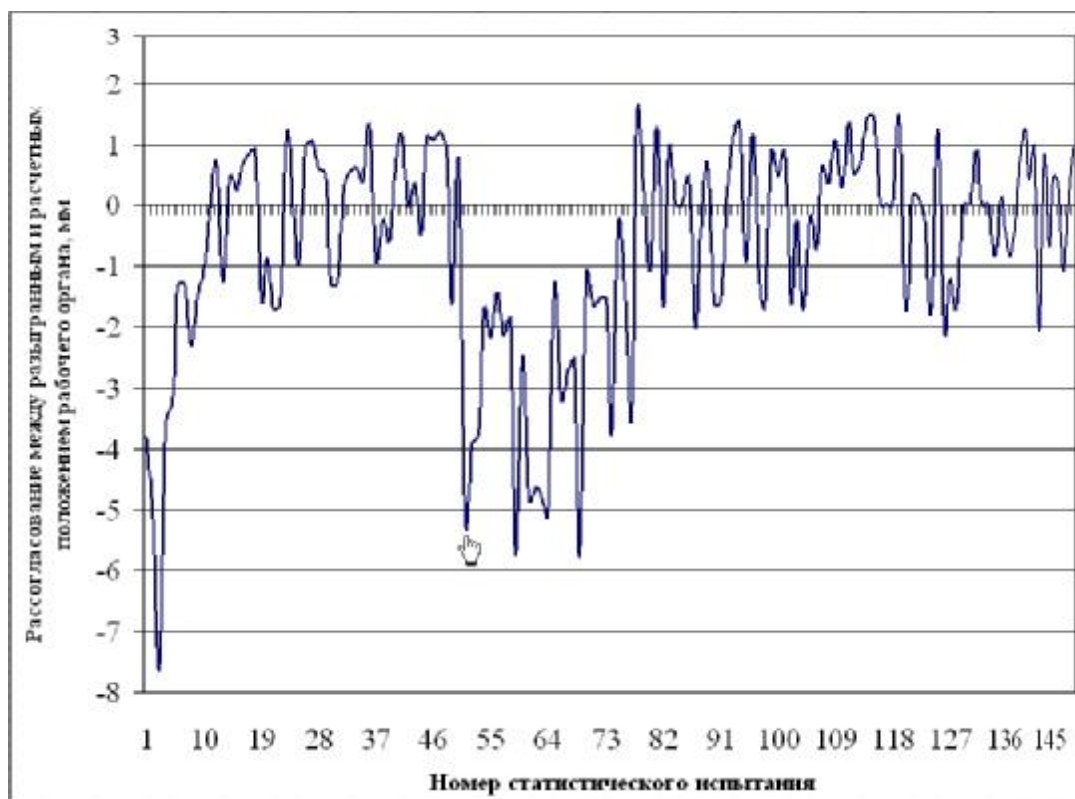


Рисунок 9 - График изменения рассогласования между разыгранной и расчетной координатами положения рабочего органа филетирующего устройства

Список литературы

1. Фатыхов Ю.А. Современный подход к разработке ресурсосберегающего разделочно-филетировочного оборудования / Ю.А. Фатыхов, А.В. Шлемин, О.В. Агеев // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2007. – № 3 (298). – С. 91-94.

2. Фатыхов Ю.А. Применение систем технического зрения для повышения эффективности разделочно-филетировочных линий / Ю.А. Фатыхов, А.В. Шлемин, О.В. Агеев // Инновации в науке и образовании – 2007: материалы V междунар. науч. конф. / КГТУ. – Калининград, 2007. – С. 400-402.

3. Агеев О.В. Принципы построения адаптивной системы управления модульной рыбообработочной линией / О.В. Агеев, А.В. Шлемин // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2007. – №25(1). – Шифр Информрегистра: 0420700012\0001. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2007/01/pdf/13.pdf>.

4. Фатыхов Ю.А. Подход к построению системы автоматического управления рабочими органами разделочно-филетировочного оборудования (Часть I. Моделирование цифрового следящего привода) / Ю.А. Фатыхов, О.В. Агеев, А.В. Шлемин, О.П. Пономарев // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2007. – №34(10). – Шифр Информрегистра: 0420700012\0172. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2007/10/pdf/15.pdf>.

5. Фатыхов Ю.А. Подход к построению системы автоматического управления рабочими органами разделочно-филетировочного оборудования (Часть II. Реализация прямого цифрового управления шаговым приводом) / Ю.А. Фатыхов, О.В. Агеев, А.В. Шлемин, О.П. Пономарев // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2007. – №34(10). – Шифр Информрегистра: 0420700012\0171. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2007/10/pdf/16.pdf>.

6. Устройство для филетирования рыбы: пат. 2320178 РФ, МПК А22 С25/16 / О.В. Агеев, А.В. Шлемин; заявитель и патентообладатель Калининградский гос. техн. ун-т. – № 2006143884; заявл. 11.12.06; опубл. 27.03.08; бюл. № 9.

7. Остром К. Системы управления с ЭВМ: Пер. с англ. / К. Остром, Б. Виттенмарк; под ред. С.П. Чеботарева. – М.: Мир, 1987. – 480 с.

8. Цетлин М.Л. Исследования по теории автоматов и моделированию биологических систем / М.Л. Цетлин. – М.: Наука, 1969. – 316 с.

9. Ширяев А. Н. Статистический последовательный анализ / А.Н. Ширяев. – М.: Наука, 1976. – 272 с.