

УДК 664.951.002.5

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОДУЛЬНОЙ РЫБОРАЗДЕЛОЧНОЙ ЛИНИЕЙ

Агеев О.В., – соискатель

Шлёмин А.В., – к.т.н., доцент

Калининградский государственный технический университет

В статье рассмотрены принципы построения системы управления модульным рыбообделочным оборудованием на базе технического зрения. Предложен подход к разработке математического описания технологического процесса филетирования в виде функциональных графов, приведены примеры математических моделей: граф операций, конечный автомат, укрупнённый алгоритм управления. Principles of the building of automation system for module fish-processing equipment on base of technical vision are considered. The approach to development of mathematical description of technological process of filleting in the manner of functional graf, cite an instance mathematical models: graf of operations, finite automata, algorithm of management.

Наиболее перспективным направлением создания современного рыбообделочного оборудования является проектирование автоматических модульных разделочных линий (АМРЛ). Интеграция в АМРЛ традиционных рыбообрабатывающих машин (загрузочного устройства, головоотсекающей, потрошильной, филетировочной, шкуротермической, моечной и упаковочной машин) существенно повышает экономическую эффективность береговых предприятий и промысловых судов, обеспечивает высокую производительность при сокращении затрат на рабочую силу. При этом важной задачей является выпуск высококачественного бескостного филе, нарезаемого на порции. Существует необходимость обеспечения жестких международных требований по санитарно-гигиеническим условиям разделочного производства, что достигается замкнутой циркуляцией воды в производственной системе с промежуточной очисткой.

Гибкость АМРЛ позволяет модифицировать базовую линию обработки рыбы, адаптировать её к условиям, соответствующим требованиям производства конкретного потребителя с точки зрения вида

сырья, объемов выпуска, производительности, количества операторов, различных уровней механизации и автоматизации.

Автоматическая модульная разделочная линия представляет собой принципиально новый технологический объект с большими возможностями. Такое оборудование должно разрабатываться с применением лазерных устройств, видеотехники, встраиваемых микроконтроллеров, что соответствует общей тенденции создания гибких производственных систем в машиностроении. В связи с этим, проектирование АМРЛ предполагает проработку трех разделов: выбор сенсорных устройств для рыбообрабатывающих модулей, обработка информации с сенсорных датчиков и синтез адаптивных законов управления.

Попытки создания рыбообделочного оборудования на основе ГПС предпринимались в отрасли в 1980-е годы на базе НПО “Дальрыбсистемотехника” (г. Владивосток). Проведены предпроектные исследования по созданию агрегатно-модульной линии со встроенным микропроцессорным управлением для разделывания различных видов рыб (минтай, хек, треска, терпуг и т.д.) Однако эти работы по определенным причинам не были доведены до практического завершения.

Процесс производства готового филе состоит из следующих двенадцати основных этапов, выполняемых соответствующими технологическими модулями [1]:

Этап 0. Ориентирование и загрузка рыбы. Данный этап предусматривает предварительное подсортирование рыбы по двум-трем размерным фракциям, коррекцию положения рыбы головой вперед, брюшком в определенную сторону, а также равномерную загрузку тушек по всей ширине операционного конвейера.

Этап 1. Обезглавливание рыбы и отсекание хвостового плавника. Данный этап процесса предусматривает экономичное отсекание головы

фигурным U-образным резом, а также экономичное отсекание хвостового плавника. При этом должны предусматриваться фиксация каждого экземпляра, предварительное надрезание хвоста и головы перед грудными плавниками, что способствует повышению качества среза и сохранению мяса в местах прилегания к костям.

Этап 2. Прорезание брюшка снизу. На данном этапе вертикальный дисковый нож производит подрезание кишочки, прямой разрез брюшка до анального отверстия.

Этап 3. Отбор внутренностей. Производится удаление внутренностей клинообразным скребком, входящим в брюшную полость тушки. Удаленные внутренности падают на конвейер отвода отходов.

Этап 4. Зачистка и промывание брюшной полости. На данном этапе производится окончательное удаление внутренностей механической вращающейся щёткой с пластиковым ворсом и гидровывывом, тщательная зачистка брюшной полости от черной плёнки с промыванием водой под давлением.

Этап 5. Вакуумная дозачистка брюшной полости. Для тщательного удаления остатков внутренностей и черной пленки через брюшную полость проходит вращающаяся вакуумная насадка, отсасывая неудаленные отходы предыдущей обработки.

Этап 6. Распластывание тушки. На данном этапе при перемещении тушки в зажимах снизу в брюшную полость вводится распластыватель, который разводит боковички тушки, вследствие чего тушка расправляется и подготавливается к филетированию.

Этап 7. Филетирование. На данном этапе предусматривается вырезание реберных костей со стороны брюшка, надрезание тушки со стороны спинки, вырезание хребтовой кости со стороны спинки, разделение филейчиков. При этом должны обеспечиваться надежное ориентирование и фиксация обезглавленной и потрошеной тушки, а также

автоматическая настройка на экономичное вырезание костей.

Этап 8. Инспекция филе. На данном этапе при помощи системы технического зрения на базе флюоресцентного устройства с графическим процессором осуществляется выявление оставшихся неудаленных костей в филе. По результатам анализа принимается решение о направлении бракованного филе на ручную доработку.

Этап 9. Обесшкуривание филе. Данный этап предусматривает снятие шкурки с филе методом стягивания с сохранением серебристой плёнки и слоя тёмного подкожного жира. В зависимости от видов сырья и готовой продукции должно предусматриваться удаление подкожного жира и треугольной жировой дорожки в срединной части филе.

Этап 10. Закрепление филе. На данном этапе филе орошается 10%-ным соевым раствором с целью уплотнения поверхностных слоев мускульной ткани, предохраняющего филе от разрыхления.

Этап 11. Порционирование филе. На данном этапе осуществляется автоматическое нарезание филе на порции с условием рационального использования мяса при заданном размере кусочков.

В случае обработки ценных пород рыб, при дополнении АМРЛ соответствующим модулем, может дополнительно осуществляться операция выдавливания икры, выполняемая после обезглавливания рыбы и отсекания хвостового плавника.

В таблице 1 приведены параметры технологических этапов по производству порционированного филе.

Филетирование рыбы является самостоятельным технологическим процессом разделывания, в наибольшей степени определяющим качество конечного продукта [2]. В связи с этим ниже рассмотрена задача автоматизации процесса филетирования.

Исходным сырьем при филетировании является потрошёная обезглавленная тушка. Процесс филетирования включает следующие технологические операции:

- операцию распластывания, при которой расправляются боковички предварительно обезглавленной и потрошёной тушки;

- операцию вырезания реберных костей, при которой с помощью горизонтальных дисковых ножей от тушки отделяются рёберные кости вместе с черной плёнкой;

- операцию прорезания тушки со стороны брюшка, при которой с помощью вертикальных дисковых ножей от филейчиков отделяется хребтовая (позвоночная) кость и спинной плавник;

- операцию отделения и отвода филейчиков, при которой производится окончательное отделение филейчиков от костей и их отвод на конвейеры для дальнейшей обработки в шкуроръемных приспособлениях.

Общим требованием для всех операций филетирования является уменьшение отходов мяса. Основными проблемами реализации технологического процесса 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 филетировочной машины за счет увеличения быстродействия исполнительных механизмов;

Таблица 1 - Параметры технологических этапов по производству порционированного филе

Рабочие приспособления	Неизмеряемые возмущающие параметры	Измеряемые возмущающие параметры	Управляющие параметры	Параметры качества
1 Обезглавливание и отсекание хвостового плавника				
Каретка с режущим органом (гидросоплом или лазером), пневмокамеры, сталкиватели голов и хвостов, система технического зрения (устройство для получения видеоизображения рыбы и осветитель), кантователь для загрузки тушки в модуль потрошения, конвейер отвода отходов, привод	Сочность рыбы, упругость мускульной ткани, коэффициент трения ткани рыбы, степень износа пневмокамер, характер биений исполнительных приводов каретки, степень износа передаточных ремней, степень загрязнения рабочей зоны	Линейные размеры рыбы, форма тела рыбы, масса рыбы, координаты жаберной щели, координаты начала хвостового плавника	Скорость движения конвейера, скорость движения каретки с режущим органом, координаты линий резания, время включения пневмокамер, сталкивателей голов и хвостов, скорость кантования тушек, время включения кантователя, время включения режущего органа	Количество мяса у отрезанной головы, количество мяса у отрезанного хвостового плавника, качество среза головы, качество среза хвоста, надежность фиксации тушки при резании, производительность модуля
2 Прорезание брюшка снизу				
Прижимные захваты, вертикальный дисковый нож, шаговый двигатель для поворота дискового ножа в плоскости резания	Сочность тушки, упругость мускульной ткани, коэффициент трения ткани тушки, степень износа дискового ножа, характер биений дискового ножа, степень загрязнения рабочей зоны	Линейные размеры тушки, форма тушки, масса тушки, координаты расположения хребтовой и реберных костей	Скорость движения прижимных захватов с тушкой, координаты плоскости резания, скорость перемещения дискового ножа при настройке, программная траектория движения ножа относительно тушки, глубина захода ножа в брюшную полость	Качество резания брюшка, точность прорезания брюшка, степень повреждения полезного мяса, степень повреждения костей, производительность модуля

Рабочие приспособления	Неизмеряемые возмущающие параметры	Измеряемые возмущающие параметры	Управляющие параметры	Параметры качества
3 Отбор внутренностей				
Прижимные захваты, клинообразный скребок, шаговый двигатель для перемещения скребка, конвейер отвода отходов	Сочность тушки, упругость мускульной ткани, коэффициент трения ткани тушки, консистенция внутренностей, степень затупления скребка, степень загрязнения рабочей зоны, точность прорезания брюшка	Линейные размеры тушки, форма тушки, масса тушки, координаты расположения внутренностей, координаты расположения хребтовой и рёберных костей	Скорость движения прижимных захватов с тушкой, координаты линии относительного движения скребка, скорость перемещения скребка при настройке, высота подъема скребка	Полнота отбора внутренностей, степень повреждения полезного мяса, степень повреждения костей, точность позиционирования скребка, производительность модуля
4 Зачистка и промывание брюшной полости				
Прижимные захваты, вращающаяся зачистная щетка, гидросопло для подачи воды под давлением, закрепленное на щетке, шаговый двигатель для поворота щетки в плоскости вращения, гидросистема, конвейер отвода отходов	Сочность тушки, упругость мускульной ткани, коэффициент трения ткани тушки, степень износа зачистной щетки, характер биений щетки, стабильность давления в гидросистеме, степень загрязнения рабочей зоны, полнота отбора внутренностей	Линейные размеры тушки, форма тушки, масса тушки, размер брюшной полости, координаты расположения хребтовой и рёберных костей	Скорость движения прижимных захватов с тушкой, глубина захода щетки в брюшную полость, скорость вращения щетки, скорость перемещения щетки при настройке, давление воды в гидросистеме, время подачи воды под давлением,	Расход воды, полнота зачистки брюшной полости, качество промывания брюшной полости, степень повреждения полезного мяса, степень повреждения костей, производительность модуля

Рабочие приспособления	Неизмеряемые возмущающие параметры	Измеряемые возмущающие параметры	Управляющие параметры	Параметры качества
5 Вакуумная дозачистка брюшной полости				
Прижимные захваты, вакуумная насадка, шаговый двигатель для вертикального перемещения вакуумной насадки, привод для осевого вращения вакуумной насадки, конвейер отвода отходов	Сочность тушки, упругость мускульной ткани, коэффициент трения ткани тушки, степень засорения вакуумной насадки, степень износа вакуумного насоса, степень износа привода вакуумной насадки	Линейные размеры тушки, форма тушки, масса тушки, размер брюшной полости, координаты расположения хребтовой и рёберных костей	Скорость движения прижимных захватов с тушкой, глубина захода вакуумной насадки в брюшную полость, величина вакуума, время включения вакуумной насадки, скорость перемещения насадки при настройке	Полнота вакуумной дозачистки брюшной полости, степень повреждения полезного мяса, расход электроэнергии вакуумным насосом, производительность модуля
6 Распластывание тушки				
Прижимные захваты, распластыватель, шаговый двигатель для вертикального перемещения распластывателя, конвейер отвода отходов	Сочность тушки, упругость мускульной ткани, коэффициент трения ткани тушки, полнота дозачистки брюшной полости, коэффициент трения поверхности распластывателя	Линейные размеры тушки, форма тушки, масса тушки, размер брюшной полости, координаты расположения брюшной полости, координаты расположения хребтовой и рёберных костей	Скорость движения прижимных захватов с тушкой, высота подъема распластывателя, скорость перемещения распластывателя при подъеме	Плотность прилегания нижней части брюшка к распластывателю, надежность фиксации боковичков тушки, правильность распластывания (отсутствие подмятых боковичков тушки), производительность модуля

Рабочие приспособления	Неизмеряемые возмущающие параметры	Измеряемые возмущающие параметры	Управляющие параметры	Параметры качества
7 Филетирование				
<p>Прижимные захваты, горизонтальные дисковые ножи, вертикальные дисковые ножи, управляемые заслонки, шаговый двигатель для перемещения управляемых заслонок, шаговый двигатель для настройки вертикальных дисковых ножей, конвейер отвода отходов, конвейер отвода филейчиков</p>	<p>Сочность тушки, упругость мускульной ткани, коэффициент трения ткани тушки, правильность распластывания, степень износа дисковых ножей, характер биений дисковых ножей, полнота дозачистки брюшной полости</p>	<p>Линейные размеры тушки, форма тушки, масса тушки, степень загрязнения рабочей зоны, толщина костей, координаты расположения хребтовой и рёберных костей</p>	<p>Скорость движения прижимных захватов с тушкой, величина зазора между управляемыми заслонками и горизонтальными дисковыми ножами, величина зазора между вертикальными дисковыми ножами, скорость перемещения управляемых заслонок при настройке, скорость перемещения вертикальных дисковых ножей при настройке, глубина захода вертикальных дисковых ножей в тушку</p>	<p>Количество оставшихся костей в филе, качество поверхности среза филе, масса филе (коэффициент использования сырья), степень повреждения мяса филе, химико-биологический состав филе, производительность модуля</p>
8 Инспекция филе				
<p>Конвейер отвода филейчиков, система технического зрения (флюоресцентный сканер), УФ-лампа, графический процессор, сталкиватель филе, конвейер отвода бракованного филе</p>	<p>Плотность ткани филе, плотность костей, сочность филе</p>	<p>Степень загрязнения рабочей зоны, количество оставшихся костей в филе, расположение оставшихся костей в филе</p>	<p>Скорость движения конвейера отвода филейчиков, время включения сталкивателя бракованного филе, запуск алгоритма адаптации параметров филетирования к свойствам сырья</p>	<p>Количество филейчиков без костей, производительность модуля</p>

Рабочие приспособления	Неизмеряемые возмущающие параметры	Измеряемые возмущающие параметры	Управляющие параметры	Параметры качества
9 Обесшкуривание филе				
Конвейер отвода филейчиков, передающий валик, промежуточный валик, захватывающий валик, вибрационный нож (вибронож), конвейер отвода шкурок	Сочность филе, упругость ткани филе, коэффициент трения ткани филе, степень затупления виброножа, степень износа валиков, степень износа вибрационного кулачка, степень загрязнения рабочей зоны	Масса филе	Скорость движения конвейера отвода филейчиков, частота колебаний виброножа, зазор между виброножом и промежуточным валиком, скорость вращения валиков	Качество поверхности среза обесшкуренного филе, количество полезного мяса, оставшегося на шкурке, производительность модуля
10 Закрепление филе				
Конвейер отвода филейчиков, душевое устройство (ороситель), солеконцентратор, дозатор, привод дозатора, смеситель тузлука, привод смесителя, гидросистема, нагреватель	Сочность филе, исходная соленость филе, количество биологически активных веществ в филе, плотность филе	Масса филе, текущая концентрация тузлука, текущая температура тузлука, наличие филе под оросителем, уровень жидкости в солеконцентраторе,	Время орошения филе, заданная концентрация тузлука, заданная температура тузлука, давление в гидросистеме, время включения смесителя тузлука для перемешивания, время включения дозатора, время включения нагревателя	Равномерность просаливания филе, концентрация соли в филе, расход соли, расход воды, расход электроэнергии, производительность модуля
11 Порционирование филе				
Каретка с режущим органом, система технического зрения, привод каретки, вычислительный блок	Сочность филе, плотность филе, упругость ткани филе, коэффициент трения ткани филе, концентрация соли в филе	Степень загрязнения рабочей зоны, линейные размеры филе, форма филе, масса филе	Размеры порций, координаты линий резания, скорость движения конвейера, время включения режущего органа	Качество среза мяса, рациональность порционирования, производительность модуля

обеспечение точного измерения параметра тела рыбы (толщины, высоты или длины), расширение универсальности филетировочных машин с точки зрения видового состава и размерных диапазонов обрабатываемых рыб. С целью максимально точной настройки режущих рабочих органов для каждого экземпляра рыбы должны определяться толщина тушки, а также толщина рёберных и хребтовой костей. 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 устройств для филетирования 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 снижает качество готового продукта. Перенастройка программы механического исполнительного блока для настройки рабочих органов требует смены отдельных деталей, что является относительно трудоёмкой операцией и ухудшает эксплуатационные характеристики приспособления.

Предложено техническое решение (рис. 1), которое позволяет повысить точность настройки рабочих органов на линию резания за счет применения бесконтактного измерительного блока, выполненного в виде лазерного сканера, увеличения производительности за счет применения быстродействующих измерительного, вычислительного и исполнительного блоков, повышения надежности за счет построения вычислительного блока

на основе микропроцессорных средств, улучшения качества выпускаемого филе за счет обеспечения выявления неудаленных костей.

Анализ обмерных данных по основным промысловым видам рыб показывает, что зависимость между толщиной тушки и размерами реберных и хребтовой костей может быть выражена линейной зависимостью:

$$X = aB + X_0 \quad (1)$$

где X – искомый размер (толщина реберных или хребтовой костей), B – высота тушки рыбы, a и X_0 – коэффициент и постоянный член, величины которых соответствуют определённому виду или партии рыбы.

В связи с тем, что электромеханическим выходом устройства является вал шагового двигателя, то уравнение (1) может быть записано в виде:

$$\varphi = aB + \varphi_0 \quad (2)$$

где φ и φ_0 – соответственно угол поворота и начальный угол поворота вала шагового двигателя, B – высота тушки рыбы.

Наличие бесконтактного триангуляционного оптического датчика в виде лазерного сканера позволяет измерять высоту тушки вне зависимости от консистенции сырья. Применение лазера с высокой интенсивностью луча позволяет уверенно измерять высоту тушки в условиях водяного тумана и загрязнения рабочей зоны. Наличие пневматического сопла для очистки линзы лазерного сканера обеспечивает надежную работу излучающей и фотоприёмной частей сканера и защиту от загрязнения рыбной чешуей, слизью и частицами кожного покрова. Кроме того, лазерный сканер позволяет измерять другой параметр тела рыбы (длину и толщину) в зависимости от ориентации рыбы при изменении технологической схемы движения тушек. Промышленные исследования показывают, что погрешность измерения параметров тела рыбы фотоэлектронным способом составляет не более $\pm 0,5$ мм. В основу работы

лазерного сканера положен принцип оптической триангуляции. Излучение полупроводникового лазера формируется объективом в виде линии и проецируется на тушку. Рассеянное на тушке излучение объективом собирается на двумерной КМОП-матрице. Полученное изображение в виде множества точек вдоль лазерной линии на объекте анализируется микроконтроллером, который определяет высоту тушки и рассчитывает толщину костей косвенным методом.

В результате промышленных исследований установлено, что при облучении рыбного филе ультрафиолетовыми лучами имеет место флюоресценция костей (кратковременное люминесцентное излучение, прекращающееся почти сразу с окончанием облучения), которые остаются включенными в филе после обработки. При наличии соответствующего модуля для получения видеоизображения флюоресцирующих костей представляется возможным определить факт наличия и количество оставшихся костей после филетирования. Преобразование аналоговой информации с модуля для получения флюоресцентного видеоизображения костей в цифровой формат должно осуществляться по алгоритмам цифровой обработки в графическом процессоре.

Наличие вычислительного блока на базе микроконтроллера позволяет рассчитать толщину рёберных и хребтовой костей по измеренной высоте тушки и передавать их цифровые значения в оперативную память. Программа микроконтроллера позволяет на основании полученной от графического процессора информации о количестве оставшихся костей осуществлять оперативное подрегулирование в процессе обработки каждой партии рыбы, выбирать и корректировать программу обработки с целью уточнения коэффициентов a и X_0 в выражении (1). Микроконтроллер обладает высокой надежностью и долговечностью, практически безинерционен и обеспечивает высокое быстродействие и оперативную смену программы. Наличие

запоминающего модуля позволяет хранить несколько программ обработки для различных видов рыб.

Режим работы исполнительных рабочих органов характеризуется как режим поворота или порционирования исполнительного вала. Цель управления состоит в обеспечении строгой пропорциональности между суммарным углом поворота и числом подаваемых управляющих импульсов, то есть в исключении накапливаемой ошибки. При этом закон движения во времени и фазовая траектория движения произвольны. Внутри интервала движения не устанавливается определенного соответствия между мгновенным положением исполнительного вала и моментом подачи каждого управляющего импульса. Динамическая ошибка лимитируется только условиями сохранения устойчивости движения. Этим условиям наиболее удовлетворяет цифровой шаговый привод. При этом увеличивается универсальность устройства, упрощается его кинематическая схема и повышается быстродействие в связи с использованием шаговых двигателей с цифровым управлением [3].

Наличие управляемой заслонки позволяет повысить точность и скорость позиционирования при автоматической настройке на вырезание рёберных костей. Наличие электромагнитного стопора обеспечивает высокую точность позиционирования рабочих органов при выведении управляемой заслонки и вертикальных дисковых ножей в требуемую плоскость обработки. Кроме того, наличие управляемых заслонок позволяет филетировать виды рыб, у которых рёберные кости короткие и расположены вертикально. В этом случае управляемая заслонка устанавливается выше отключенных горизонтальных дисковых ножей, а рёберные и хребтовая кости совместно вырезаются вертикальными дисковыми ножами.

На рис. 1 представлена схема предлагаемого устройства для филетирования.

На схеме приняты следующие обозначения:

- 1 - направляющая для перемещения рыбы.
- 2 - захваты.
- 3 - тушка рыбы.
- 4 – опорная направляющая.
- 5 - лазерный сканер.
- 6 - пневматическое сопло.
- 7 – пневмораспределитель с электромагнитным управлением, подключенный к пневматическому соплу.
- 8 - управляемые заслонки.
- 9 - стержни для регулирования зазора между горизонтальными дисковыми ножами и управляемыми заслонками.
- 10 - горизонтальные дисковые ножи.
- 11 - вертикальные дисковые ножи
- 12, 13 – шаговые двигатели.
- 14 - электромагнитный стопор.
- 15 - вычислительный блок на базе микроконтроллера.
- 16 - графический процессор.
- 17 - флюоресцентный сканирующий блок.
- 18 - модуль для получения видеоизображения флюоресцирующих костей.
- 19 - пневмораспределитель с электромагнитным управлением, подключенный к пневмоцилиндру.
- 20 - приспособление для удаления отбракованного филе с конвейера (сталкиватель).
- 21 - ультрафиолетовая лампа.
- 22 - конвейер для отвода филейчиков.
- 23 - филейчик.
- 24 - конвейер для отвода бракованного филе.

25 – датчик положения заслонки.

Работа устройства для филетирования рыбы осуществляется следующим образом.

Захваты 2, удерживающие тушку рыбы 3 в положении головной частью вперед и брюшной частью вниз, катятся по направляющей для перемещения рыбы 1. При прохождении рыбы мимо лазерного сканера 5, тушка 3 освещается лазерным лучом с вертикальной разверткой, после чего значение длины лазерной линии передается в вычислительный блок 15. При загрязнении линзы лазерного сканера 5 и снижении уровня сигнала вычислительный блок 15 включает пневмораспределитель 7, который подает сжатый воздух в пневматическое сопло 6, продувающее от загрязнений поверхность линзы лазерного сканера 5. Вычислительный блок 15 рассчитывает толщину рёберных и хребтовой костей в соответствии с выражением (1), после чего вырабатывает значения необходимых углов поворота шаговых двигателей. Опорная направляющая 4 распластывает боковички тушки и разводит рёберные кости в стороны. Шаговый двигатель 12 подвигает стержни 9 для регулирования зазора между горизонтальными дисковыми ножами 12 и управляемыми заслонками 8. Стержни 9 перемещают управляемые заслонки 8 на определенное расстояние, соответствующее толщине рёберных костей. Вычислительный блок 15 передает сигнал включения на электромагнитный стопор 14, который фиксирует вал шагового двигателя 12 в неподвижном состоянии, что обеспечивает точное позиционирование управляемых заслонок 8. Тушка 3 опирается нижней частью брюшка на управляемые заслонки 8 и скользит по ним, попадая нижней частью боковичков с рёберными костями в зазор между горизонтальными дисковыми ножами 10 и управляемыми заслонками 8. Горизонтальные дисковые ножи 10 прорезают боковички тушки, вырезая при этом рёберные кости и черную плёнку. Захваты 2 перемещают тушку по

направляющей 1 к вертикальным дисковым ножам 11. Шаговый двигатель 13 устанавливает зазор между вертикальными дисковыми ножами 11, соответствующий толщине хребтовой кости. Вертикальные дисковые ножи 11 прорезают тушку со стороны брюшка, вырезая хребтовую кость и спинной плавник. Филейчики 23 отделяются от кости и падают на конвейер отвода филейчиков 22. По конвейеру отвода филейчиков 22 филейчики перемещаются в поле зрения модуля для получения видеоизображения флюоресцирующих костей 18. Вычислительный блок 15 подает команды включения и выключения на ультрафиолетовую лампу 21. Снизу филе 23 освещается ультрафиолетовой лампой 21, что создает флюоресценцию костей, оставшихся в филейчиках после обработки. Видеоизображение флюоресцирующих костей преобразуется в цифровой формат и передается в графический процессор 16. Графический процессор 16 передает в вычислительный блок 15 информацию о количестве костей, оставшихся в филе. Программа вычислительного блока 15 при помощи алгоритма адаптации оперативно корректирует коэффициент для выражения (1), причем при наличии костей сверх допустимого количества подает команду на пневмораспределитель 19, который приводит в действие приспособление для удаления отбракованного филе с конвейера 20. Приспособление для удаления отбракованного филе с конвейера 20 сталкивает бракованное филе на конвейер отвода бракованного филе 24, которое направляется на дозачистку костей. При отключенных горизонтальных дисковых ножах 10 управляемые заслонки 8 выставляются выше горизонтальных дисковых ножей 10, а вертикальные дисковые ножи 11 настраиваются на зазор, соответствующий ширине подрёберного пространства тушки. Во время движения филе на конвейере отвода филейчиков 22, который проходит через флюоресцентный сканирующий блок 17, в устройство для филетирования может быть загружена следующая тушка.

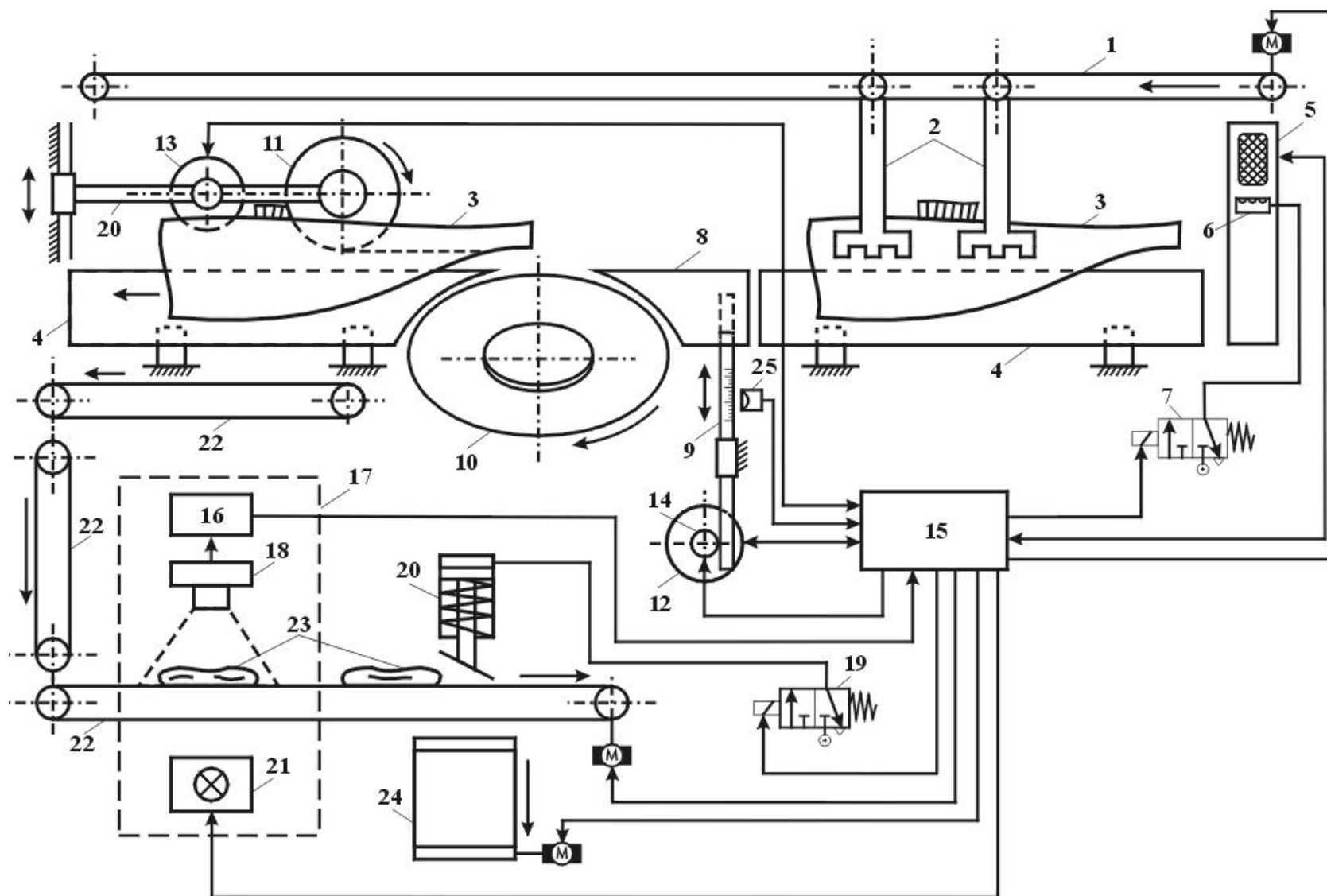


Рис. 1 - Схема устройства для филетирования рыбы

Так как захваты 2 и конвейер отвода филейчиков 22 могут двигаться с различной скоростью, в устройстве предусмотрено буферное звено конвейера перед флюоресцентным сканирующим блоком 17.

Требованиям гибкости производства наиболее удовлетворяет иерархическая структура управления технологическим процессом обработки сырья [4].

К первому уровню системы управления (рис. 2) принадлежат подсистемы автоматического контроля и управления, обеспечивающие инвариантность параметров, определяющих точность работы оборудования, к изменениям свойств рыбного сырья, режима обработки и других возмущающих воздействий - за счет лазерного сканирования высоты каждой тушки.

Второй уровень управления обеспечивает координацию работы локальных регуляторов и параметрическую адаптацию режимов разделывания 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, точность и равномерность загрузки машины). Эта задача решается оператором в диалоговом режиме с использованием алгоритмов нечеткого управления на основе результатов оперативных измерений (флюоресцентного сканирования филе для выявления оставшихся костей, измерения весового коэффициента использования сырья), органолептических оценок (внешний вид филе, внешний вид отходов, чистота резания, тщательность зачистки брюшной полости, правильность разделывания) и лабораторного анализа (состав готового продукта, состав отходов). Кроме того, задачей адаптации является также коррекция текущей программы для подсистемы первого уровня, с целью улучшения показателей качества до оптимального значения.

Система адаптивного управления должна осуществлять

согласованное управление всеми модулями и подсистемами рыбообработочной линии, то есть обеспечивать мультизадачность [5]. В частности, способ адаптивного управления устройством для филетирования, в состав которого кроме шаговых исполнительных двигателей входит еще ряд активных устройств, основан на получении математической модели системы управления как логической сети, являющейся конечным автоматом. Такой подход позволяет не только анализировать работу устройства для филетирования, но и в дальнейшем проектировать программное обеспечение для реализации системы управления. Задачу обеспечения согласованного управления узлами устройства для филетирования можно решать, описав каждый узел как конечный автомат, построив для управления им соответствующий регулятор, который также является конечным автоматом. Таким образом, логический уровень системы управления филетировочным устройством является сетью конечных автоматов, объединенных общими входами и выходами [6].

Пусть i -й узел филетировочного устройства имеет следующее описание:

$$E_i = \{U_{Ei}, V_{Ei}, Y_{Ei}, \chi_{Ei}, \psi_{Ei}\}, \quad (3)$$

где U_{Ei} – входной алфавит i -го узла, V_{Ei} – множество состояний i -го узла, Y_{Ei} – выходной алфавит i -го узла, χ_{Ei} – функция перехода между состояниями, ψ_{Ei} – функция выхода i -го узла.

В общем случае, узел филетировочного устройства рассматривается как некоторый объект, который может находиться в одном из состояний $v_j \in V_{Ei}$ до тех пор, пока на его вход не поступает какой-либо символ из входного алфавита $u_j \in U_{Ei}$. В этом случае узел устройства переходит в новое состояние, определяемое преобразованием $\chi_{Ei}: V_{Ei} \times U_{Ei} \rightarrow V_{Ei}$, как функция текущего состояния и входа. Кроме того, на выходе конечного автомата появляется символ $y_j \in Y_{Ei}$, при этом выходной сигнал

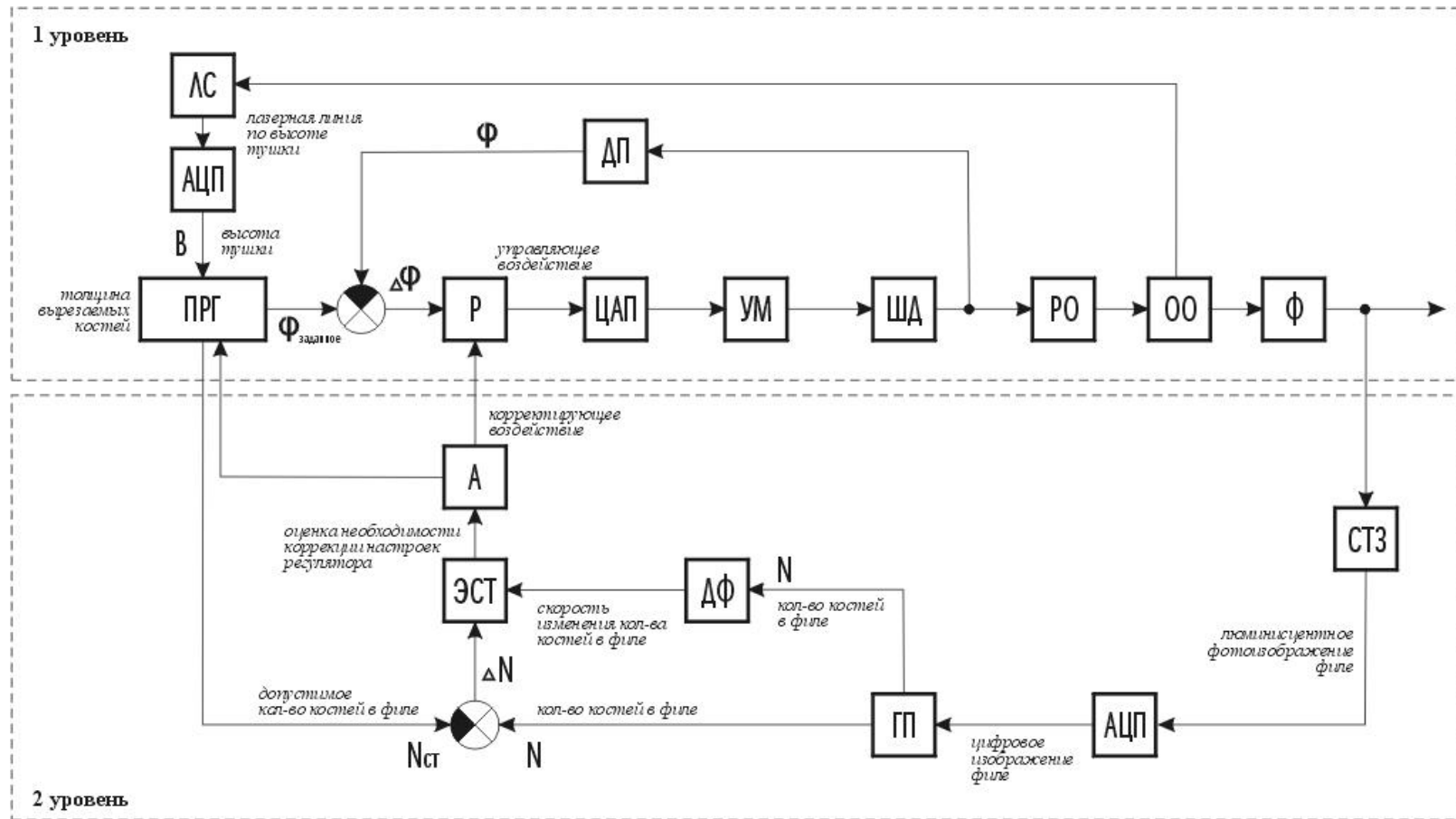
определяется преобразованием $\psi_{Ei}: V_{Ei} \times U_{Ei} \rightarrow Y_{Ei}$. Тогда, интерпретируя узел филетировочного устройства как объект управления, конечный автомат регулятора имеет следующий вид:

$$E_i = \{U_{Ri}, V_{Ri}, Y_{Ri}, \chi_{Ri}, \psi_{Ri}\}, \quad (4)$$

при этом входные и выходные алфавиты узла филетировочного устройства и регулятора подчинены условию $U_{Ri} \subseteq Y_{Ei}$, $U_{Ei} \subseteq Y_{Ri}$. Регулятор управляет поведением узла, принимая лишь информацию в виде символов его выходного алфавита.

Для обеспечения согласованного управления совокупностью узлов филетировочного устройства вводится еще ряд конечных автоматов, называемых мониторами m_i , которые связаны с некоторым выбранным подмножеством регуляторов. Такая иерархическая структура управления (рис. 3) может быть надстроена вверх мониторами настолько, насколько это необходимо для управления филетировочным устройством, модульной рыбоделочной линией, ГПС [4].

Для разработки примера математического описания работы устройства для филетирования в виде графа операций выбрана совокупность компонентов технологического процесса, изменяющих свое состояние в результате управляющих воздействий или технологических условий. В таблице 2 представлено описание параметров состояния объекта обработки и узлов филетировочного устройства.



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 – аналогово-цифровой преобразователь, ДП – датчик положения, СТЗ – система технического зрения, ГП – графический процессор, ДФ – дифференциатор (блок оценки изменения качества филе), ЭСТ – эстиматор, А – адаптатор, N – количество костей в филе, B – толщина тушки, ϕ – значение угла поворота шагового двигателя

Рис. 2 - Блок-схема адаптивной системы управления устройством для филетирования рыбы

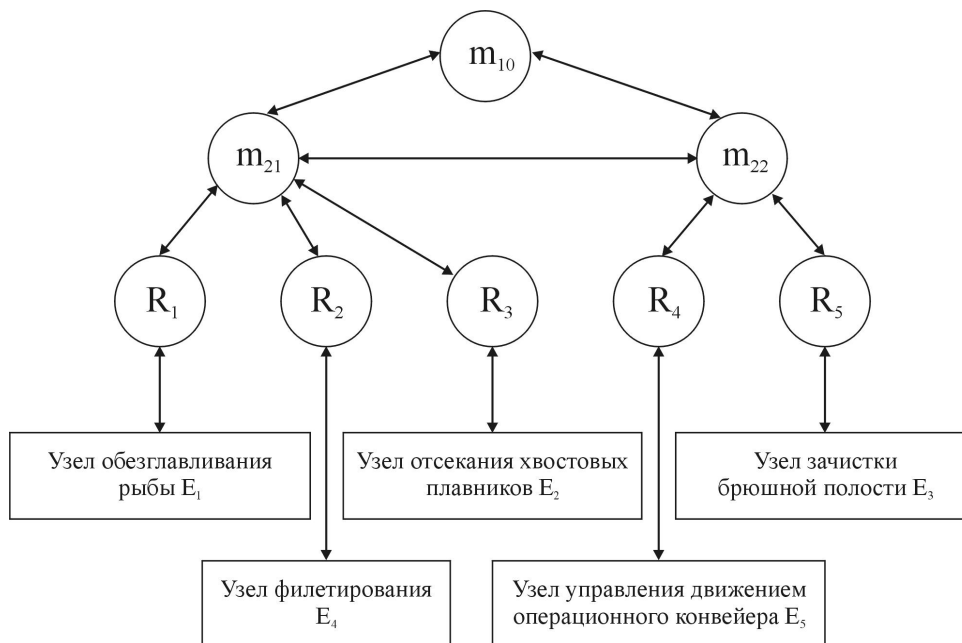


Рис. 3 - Фрагмент схемы управляющей логической сети

Таблица 2 - Параметры состояния объекта обработки и узлов филетировочного устройства

№ п/п	Наименование компонента	Обозначение параметров состояний
1	Тушка рыбы	Рыба не загружена (a_0), целая тушка рыбы (a_1); тушка с вырезанными рёберными костями (a_2); тушка с вырезанной хребтовой костью (a_3); филе отделенное без костей (a_4); филе отделенное с костями (a_5)
2	Привод захватов с тушкой	Выключен/остановлен (b_1); включен (b_2)
3	Лазерный сканер	Выключен (c_1); включен, данные о высоте тушки не выработаны (c_2); включен, данные о высоте тушки выработаны (c_3); тушка загружена, отсутствует отраженный луч - линза сканера загрязнена (c_4)
4	Горизонтальные дисковые ножи	Выключены и остановлены (d_1); включены и вращаются (d_2)
5	Вертикальные дисковые ножи	Выключены и остановлены (e_1); включены и вращаются (e_2)
6	Управляемые заслонки	Зафиксирована в неподвижном положении, не настроена (f_1); поднимается вверх (f_2); опускается вниз (f_3); зафиксирована в неподвижном положении, настроена (f_4)
7	Шаговый двигатель управляемой заслонки	Находится в неподвижном состоянии (g_1); вращается по часовой стрелке (g_2); вращается против часовой стрелки (g_3)

№ п/п	Наименование компонента	Обозначение параметров состояний
8	Электромагнитный стопор	Выключен (h_1); включен (h_2)
9	Пневмораспределитель, подключенный к пневмосоплу	Выключен (i_1); включен (i_2)
10	Пневмораспределитель, подключенный к пневмоцилиндру сталкивателя	Выключен (j_1); включен (j_2)
11	Конвейер для отвода филейчиков	Выключен (k_1); включен (k_2)
12	Ультрафиолетовая лампа	Выключена (l_1); включена (l_2)
13	Модуль для получения видеоизображения флюоресцирующих костей (флюоресцентный сканер)	Выключен (m_1); включен, фотоизображение филе не получено (m_2); включен, фотоизображение филе получено (m_3)
14	Графический процессор	Выключен (n_1); включен, данные о количестве костей в филе не выработаны (n_2); включен, данные о количестве костей в филе выработаны (n_3)
15	Конвейер для отвода бракованного филе	Выключен (o_1); включен (o_2)
16	Приспособление для удаления отбракованного филе с конвейера (сталкиватель)	Находится в крайнем верхнем положении (p_1); находится в промежуточном положении (p_2); находится в крайнем нижнем положении (p_3)
17	Шаговый двигатель вертикальных дисковых ножей	Находится в неподвижном состоянии (q_1); вращается по часовой стрелке (q_2); вращается против часовой стрелки (q_3)
18	Кнопка завершения работы	Отжата (r_1); нажата (r_2)

В таблице 3 представлено описание режимов работы устройства для филетирования.

Таблица 3 - Описание режимов работы устройства для филетирования

Обозн. режима	Состояние объекта обработки и узлов устройства	Описание режима
P1	$a_0, b_1, c_1, d_1, e_1, f_1, g_1, h_1, i_1, j_1, k_1, l_1, m_1, n_1, o_1, p_1, q_1, r_1$	Начало работы, все узлы выключены, тушка не загружена
P2	$a_0, b_1, c_2, d_1, e_1, f_1, g_1, h_2, i_1, j_1, k_1, l_2, m_2, n_2, o_1, p_1, q_1, r_1$	Тушка не загружена, включены лазерный сканер, электромагнитный стопор, УФ-лампа, флюоресцентный сканер, графический процессор, остальные узлы выключены

Обозн. режима	Состояние объекта обработки и узлов устройства	Описание режима
P3	$a_0, b_1, c_2, d_2, e_2, f_1, g_1, h_2, i_1, j_1, k_2, l_2, m_2, n_2, o_2, p_1, q_1, r_1$	Включены горизонтальные и вертикальные дисковые ножи, конвейер отвода филейчиков, конвейер отвода бракованного филе
P4	$a_1, b_2, c_3, d_2, e_2, f_1, g_1, h_2, i_1, j_1, k_2, l_2, m_2, n_2, o_2, p_1, q_1, r_1$	Загружена целая тушка рыбы, измерена высота тушки
P5	$a_1, b_1, c_4, d_2, e_2, f_1, g_1, h_2, i_1, j_1, k_2, l_2, m_2, n_2, o_2, p_1, q_1, r_1$	Загружена целая тушка рыбы, высота тушки не измерена вследствие загрязнения линзы лазерного сканера
P6	$a_1, b_1, c_4, d_2, e_2, f_1, g_1, h_2, i_2, j_1, k_2, l_2, m_2, n_2, o_2, p_1, q_1, r_1$	Включено пневматическое сопло для очистки линзы лазерного сканера от загрязнений
P7	$a_1, b_2, c_2, d_2, e_2, f_1, g_1, h_1, i_1, j_1, k_2, l_2, m_2, n_2, o_2, p_1, q_1, r_1$	Тушка движется по направляющей к управляемым заслонкам, отключен электромагнитный стопор
P7'	$a_1, b_2, c_2, d_2, e_2, f_1, g_1, h_1, i_1, j_1, k_2, l_2, m_2, n_2, o_2, p_1, q_1, r_1$	Расчет координат позиционирования управляемых заслонок
P8	$a_1, b_2, c_2, d_2, e_2, f_2, g_3, h_1, i_1, j_1, k_2, l_2, m_2, n_2, o_2, p_1, q_1, r_1$	Управляемые заслонки перемещаются вверх
P9	$a_1, b_2, c_2, d_2, e_2, f_3, g_2, h_1, i_1, j_1, k_2, l_2, m_2, n_2, o_2, p_1, q_1, r_1$	Управляемые заслонки перемещаются вниз
P10	$a_1, b_2, c_2, d_2, e_2, f_4, g_1, h_2, i_1, j_1, k_2, l_2, m_2, n_2, o_2, p_1, q_2, r_1$	Вертикальные дисковые ножи сдвигаются, управляемые заслонки настроены, включен электромагнитный стопор
P11	$a_1, b_2, c_2, d_2, e_2, f_4, g_1, h_2, i_1, j_1, k_2, l_2, m_2, n_2, o_2, p_1, q_3, r_1$	Вертикальные дисковые ножи раздвигаются, управляемые заслонки настроены, включен электромагнитный стопор
P12	$a_1, b_2, c_2, d_2, e_2, f_4, g_1, h_2, i_1, j_1, k_2, l_2, m_2, n_2, o_2, p_1, q_1, r_1$	Вырезаются рёберные кости, вертикальные дисковые ножи настроены
P13	$a_2, b_2, c_2, d_2, e_2, f_1, g_1, h_2, i_1, j_1, k_2, l_2, m_2, n_2, o_2, p_1, q_1, r_1$	Рёберные кости вырезаны, тушка перемещается к вертикальным дисковым ножам, вырезается хребтовая кость

Обозн. режима	Состояние объекта обработки и узлов устройства	Описание режима
P14	$a_3, b_2, c_2, d_2, e_2, f_1, g_1, h_2, i_1, j_1, k_2, l_2, m_2, n_2, o_2, p_1, q_1, r_1$	Хребтовая кость вырезана, тушка разделяется на два филейчика, инспекция филе
P15	$a_3, b_2, c_2, d_2, e_2, f_1, g_1, h_2, i_1, j_1, k_2, l_2, m_3, n_2, o_2, p_1, q_1, r_1$	Филейчики разделены, находятся на конвейере отвода филейчиков в поле зрения флюоресцентного сканера, получено фотоизображение филе
P16	$a_3, b_2, c_2, d_2, e_2, f_1, g_1, h_2, i_1, j_1, k_2, l_2, m_3, n_3, o_2, p_1, q_1, r_1$	Графическим процессором выработаны данные о количестве костей в филе
P16'	$a_5, b_2, c_2, d_2, e_2, f_1, g_1, h_2, i_1, j_1, k_2, l_2, m_3, n_3, o_2, p_1, q_1, r_1$	Запущен алгоритм коррекции настроек регулятора по результатам анализа филе
P17	$a_4, b_2, c_2, d_2, e_2, f_1, g_1, h_2, i_1, j_1, k_2, l_2, m_2, n_2, o_2, p_1, q_1, r_1$	Филе признано качественным, перемещается в модуль солевого закрепления филе
P18	$a_5, b_2, c_2, d_2, e_2, f_1, g_1, h_2, i_1, j_2, k_2, l_2, m_2, n_2, o_2, p_2, q_1, r_1$	В филе обнаружено недопустимое количество костей, включен сталкиватель бракованного филе
P19	$a_5, b_2, c_2, d_2, e_2, f_1, g_1, h_2, i_1, j_2, k_2, l_2, m_2, n_2, o_2, p_3, q_1, r_1$	Сталкиватель направляет филейчик с костями на конвейер отвода бракованного филе
P20	$a_0, b_2, c_2, d_2, e_2, f_1, g_1, h_2, i_1, j_1, k_2, l_2, m_2, n_2, o_2, p_1, q_1, r_2$	Нажата кнопка завершения работы
P21	$a_0, b_1, c_1, d_1, e_1, f_1, g_1, h_1, i_1, j_1, k_2, l_1, m_1, n_1, o_2, p_1, q_1, r_2$	Работают только конвейеры для вывода филе из устройства
P22	$a_0, b_1, c_1, d_1, e_1, f_1, g_1, h_1, i_1, j_1, k_1, l_1, m_1, n_1, o_1, p_1, q_1, r_2$	Устройство завершило работу

На рис. 4 представлен пример графа операций технологического процесса филетирования.

На рис. 5 приведен конечный автомат режимов работы устройства для филетирования, соответствующий графу операций, приведенному на рис. 4.

На рис. 6 и рис. 7 приведен укрупненный алгоритм управления

устройством для филетирования рыбы. На базе конечноавтоматного описания разработан проект программы для программируемого логического контроллера Advantech ADAM-5510 на языке LD в соответствии со стандартом МЭК 61131-3.

Таким образом, в процессе управления решается следующая задача: для заданного вида и размера тушки определить режим процесса филетирования, который обеспечивал бы заданное качество продукта при минимальном потреблении энергии.

Режим резания характеризуется рядом параметров, к которым относятся: скорость вращения, линейная скорость и положение плоскости движения рабочего органа относительно плоскости обработки, скорость подачи сырья, угол заточки и форма граней рабочего органа, расход воды, затраты электроэнергии на резание.

Характеристиками сырья, имеющими значение при определении режима резания, являются основные физические параметры рыбы (упругость, вязкость, влажность и другие), механические параметры (линейные размеры, объемные соотношения, коэффициенты трения и другие). Наибольшее значение для работы филетировочного устройства имеют упругость мускульной ткани, линейные соотношения тела рыбы и ее вес. Существенным критерием, свидетельствующим о правильном выборе значений параметров резания, является качество реза, точнее, чистота поверхности реза. С другой стороны, важнейшей характеристикой процесса резания является затрачиваемая мощность.

Таким образом, в процессе управления среди прочего решается следующая задача: для заданного вида и размера рыбы определить режим процесса резания, который обеспечивал бы заданное качество поверхности резания при минимальном потреблении энергии.

Параметры настройки локальных регуляторов рассчитываются на основе математических моделей, полученных для определенных видов рыб на основе статистических исследований. Данные модели связывают координаты заданных точек на теле рыбы с морфометрическими характеристиками рыбы (толщиной, длиной, высотой и контуром тела рыбы). Однако соотношения между морфометрическими

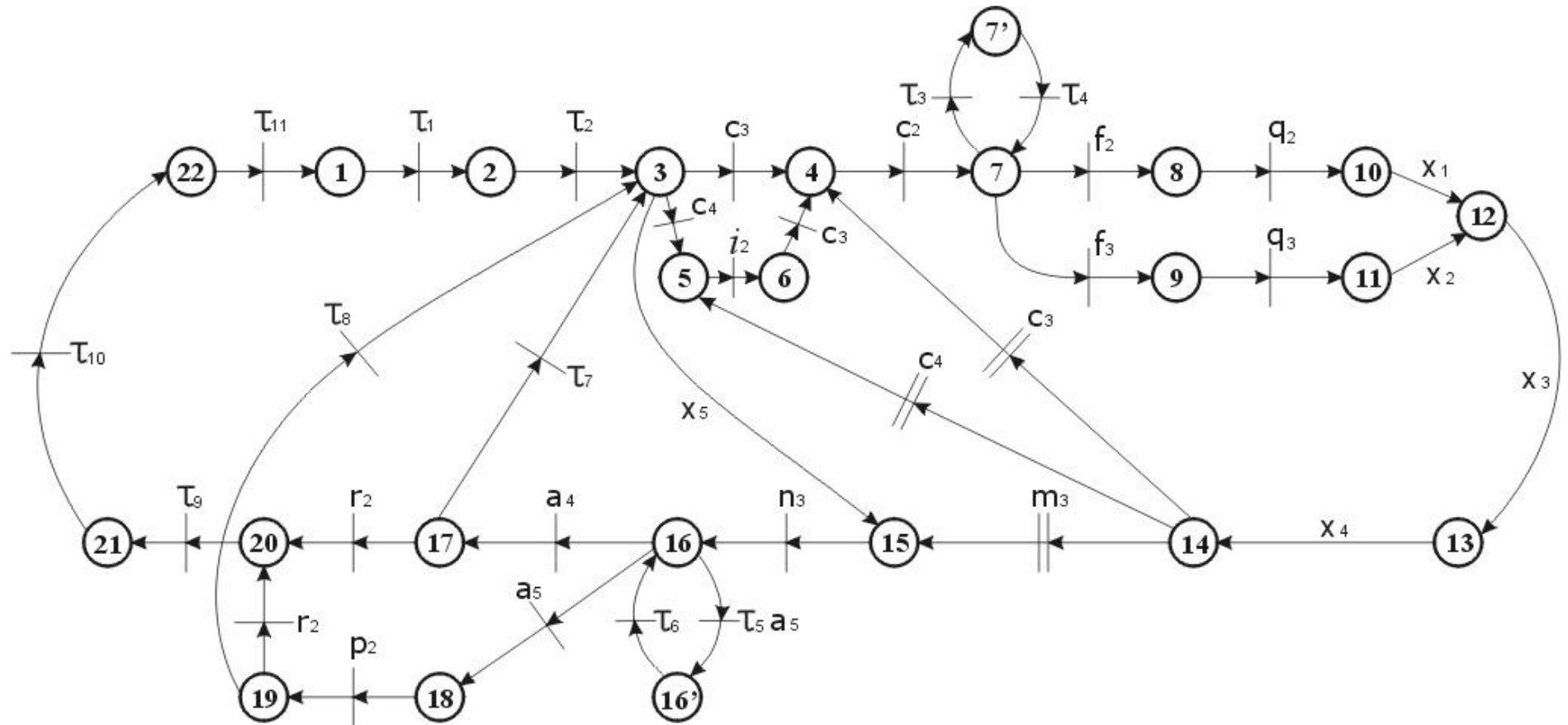
характеристиками могут случайным образом изменяться в процессе работы рыбобороздочной машины, что обусловлено сезонным изменением формы тела рыбы [7].

Задача алгоритма адаптации настроек регуляторов к свойствам рыбного сырья состоит в коррекции коэффициентов регуляторов таким образом, чтобы свести к минимуму рассогласование между заданными параметрами процесса и фактическим качеством филетирования, а также к выбору адекватной эталонной модели в программаторе для вида сырья, поступающего на вход филетировочного устройства или модульной разделочной линии.

Получение информации о несоответствии текущих параметров процесса разделывания требуемым показателям качества предлагается осуществлять на основе следующих методов:

- оперативного контроля формы тела рыбы при помощи подсистемы технического зрения;
- оперативного контроля высоты потрошеной тушки при помощи лазерного сканера;
- оперативного контроля количества костей в филе при помощи флюоресцентного сканера;
- оперативного контроля коэффициента использования сырья при помощи поэтапного взвешивания сырья, потрошеной тушки и готового филе;
- оценки оператором рыбобороздочной линии качества разделывания и филетирования с использованием шкалы нечетких высказываний.

Предлагаемый подход к построению системы адаптивного управления создает практическую основу для разработки научного обеспечения автоматической модульной разделочной линии. Применение данного подхода на разделочных производствах позволит обеспечить малоотходную технологию обработки рыбы за счёт адаптивного управления настройкой рабочих органов, существенно расширит функциональные возможности, повысит качество продукции, надежность и производительность оборудования.



τ_i – управляющие воздействия, x_i – технологические условия

Рис. 4 - Граф операций технологического процесса филетирования

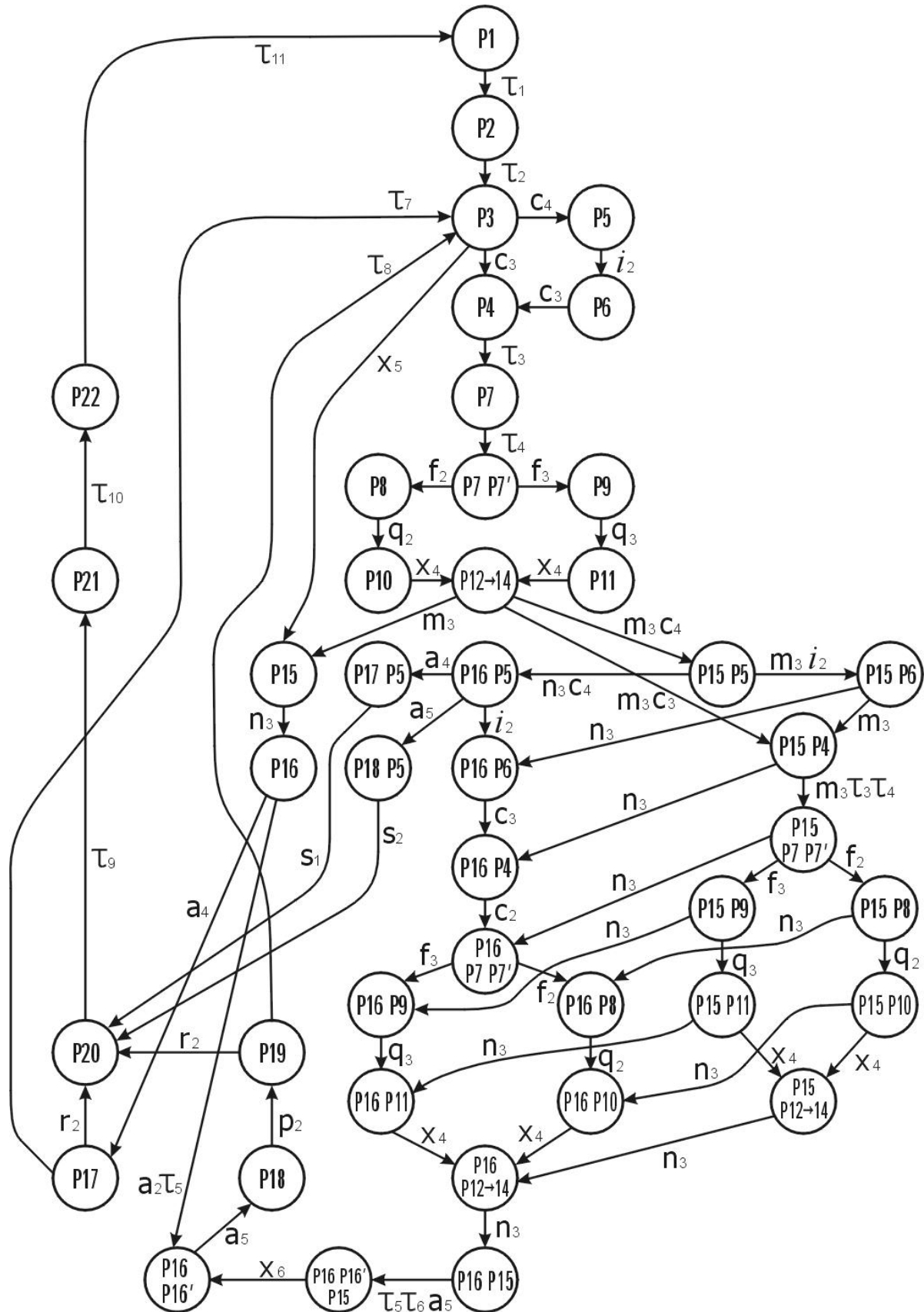


Рис. 5 - Конечный автомат режимов работы устройства для филетирования

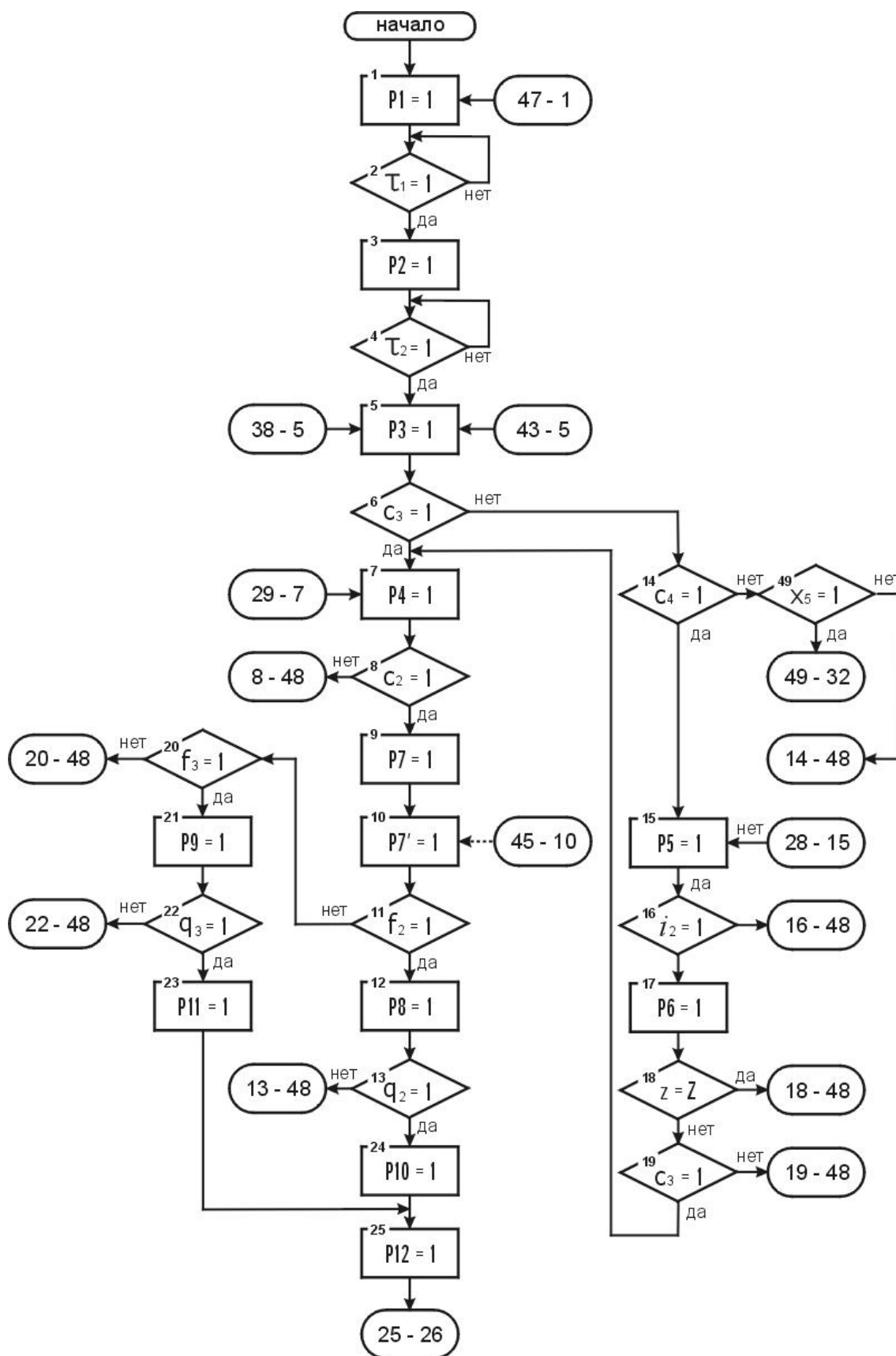


Рис. 6 - Укрупненный алгоритм управления устройством для филетирования рыбы

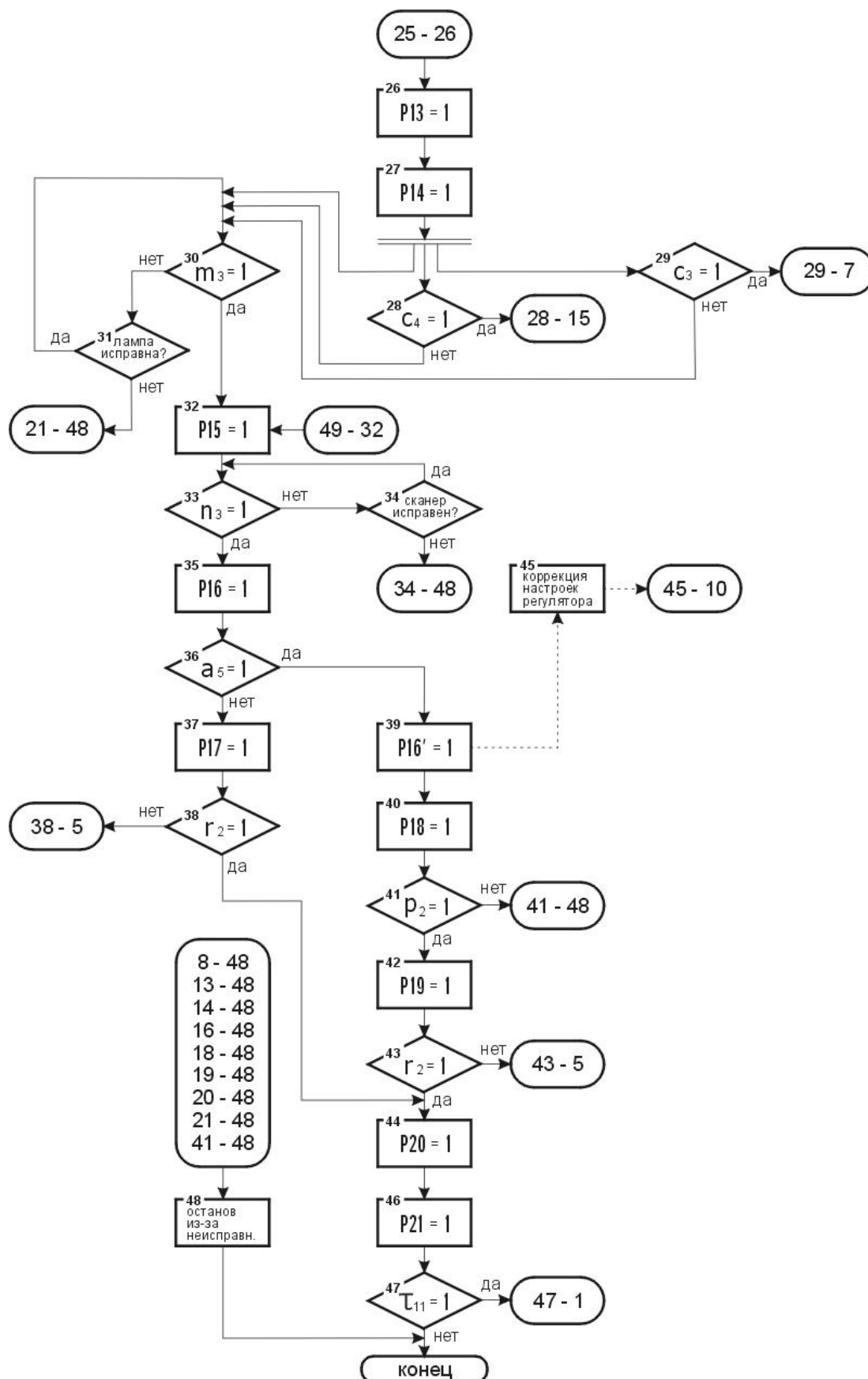


Рис. 7 - Укрупненный алгоритм управления устройством для филетирования рыбы (продолжение)

Литература

1. Поспелов Ю.В. Механизированные разделочные линии рыбообработывающих производств. – М.: Агропромиздат, 1987. – 188 с.
2. Карпов В.И. Технологическое оборудование рыбообработывающих производств. – М.: Колос, 1993. – 100 с.
3. Куафе Ф. Взаимодействие робота с внешней средой. – М.: Мир, 1985. – 285 с.
4. Соломенцев Ю.М. Управление гибкими производственными системами. - М., 1988. – 352 с.
5. Основы автоматизации машиностроительного производства / под ред. Ю.М. Соломенцева. – М., 2001. – 312 с.
6. Юдицкий С.А., Магергут В.З. Логическое управление дискретными процессами. – М.: Машиностроение, 1987. – 176 с.
7. Уманцев А.З. Физико-механические характеристики рыб. – М.: Пищевая промышленность, 1980. – 152 с.
8. Терентьев А.В. Основы комплексной механизации обработки рыбы. – М.: Пищевая промышленность, 1969. – 432 с.
9. Автоматизация машиностроения / Н.М. Капустин, Н.П. Дьяконова, П.М. Кузнецов; Под ред. Н.М. Капустина. – М.: Высшая школа, 2003. – 223 с.
10. Логашев В.Г. Технологические основы гибких автоматических производств. - Л., 1985. – 176 с.
11. Основы инженерной психологии / Под ред. Б.Ф. Ломова. – М.: Высшая школа, 1977. – 100 с.
12. Шибанов Г.П. Количественная оценка деятельности человека в системах человек-техника. – М.: Машиностроение, 1983. – 180 с.