

УДК 631.171.1

## МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ УНИФИЦИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛИНИЙ ОБРАБОТКИ МОЛОКА

*Л.Ф. ВОЛКОРОВИЧ<sup>1</sup>, М.Г. КУШНИР<sup>1</sup>, А.Л. ВОЛКОРОВИЧ<sup>1</sup>,  
В.Е. СЛИПЕНКИ<sup>2</sup>, О.Г. СТЁПКА<sup>1</sup>, И.И. КИРИЯК<sup>1</sup>, А.Г. ПОПА<sup>1</sup>*

*Государственный Аграрный Университет Молдовы<sup>1</sup>,  
Академия Транспорта, Информатики и Коммуникаций<sup>2</sup>*

**Abstract.** The paper presents the development of a synthesis methodology for the unified system of electrical equipment of energy-saving technological lines for milk processing, which consists of three stages. The first stage is focused on the research of the technological lines for milk processing as an object of control. At the second stage the synthesis of the electrical equipment system is performed, and at the third stage, the construction of the generalized control algorithms is carried out for single-type groups of operating mechanisms within one investigated technological system. The proposed method allows to substantiate and develop a flexible electrical equipment system according to the block-modular principle without redundant nomenclature and taking into account the operating features of this system and the possibility of its adjustment, at the stage of design, when changing the technological challenges.

**Key words:** Object of control; Operating mechanisms; Synthesis of electrical equipment system; Unified blocks.

**Реферат.** В статье разработана методика синтеза унифицированной системы электрооборудования энергосберегающих технологических линий обработки молока, состоящая из трех этапов. На первом этапе проводится исследование технологических линий обработки молока как объекта управления. На втором этапе осуществляется синтез системы электрооборудования, а на третьем этапе осуществляется построение обобщенных алгоритмов управления для однотипных групп исполнительных механизмов внутри одной рассматриваемой технологической системы. Предложенный метод позволяет обосновать и разработать гибкую систему электрооборудования по блочно-модульному принципу без номенклатурной избыточности с учетом функциональных особенностей данной системы и возможности ее перестройки на стадии проектирования при изменении технологических задач.

**Ключевые слова:** Объект управления; Исполнительные механизмы; Синтез системы электрооборудования; Унифицированные блоки.

### ВВЕДЕНИЕ

Технологические линии обработки молока в настоящее время дополняются новыми техническими средствами и комплектами оборудования для реализации новых высокоэффективных технологических процессов, обеспечивающих улучшение экологических, энергетических и эксплуатационных характеристик. К этим средствам относятся энергосберегающие системы, аккумуляторы естественного и искусственного холода, регулируемые самонастраивающиеся звенья, позволяющие в максимальной степени учитывать специфику сельскохозяйственных процессов, характеризующихся большим количеством факторов и сезонных изменений. Это существенно изменяет структуру и режимы работы технологических линий, структуру системы электрооборудования (СЭ), перечень контролируемых и регулируемых параметров процесса обработки, элементную базу и характер функциональных связей между ними. Поэтому структура СЭ технологических линий зависит от значительного количества факторов, принятой технологии, зонального расположения фермы, наличия конкретного оборудования, архитектурно-планировочных решений и т.д.

Структура СЭ технологических линий обработки молока существенно отличается от других технологических линий в животноводстве. Одним из главных отличительных факторов является многовариантность формирования линий различным оборудованием, отсутствие стабильной их комплектации. Существующие методы и методики обоснования, построения и унификации электрооборудования предусматривают в основном синтез одноуровневой системы управления и унификации СЭ, состоящей из однотипных низковольтных комплектных устройств управления (НКУ), отличающихся только схемной реализацией и элементной базой. Это приводит к номенклатурной и параметрической избыточности, так как НКУ рассматривается как основной структурный элемент СЭ. Кроме того, эти методы и методики ограничиваются внутрисистемной

унификацией, т.е. сравнением различных НКУ по критерию взаимной унификации (Волконович, Л., Мусин, А., Волконович, А. и др. 2007).

Разрабатываемая структура СЭ в любом варианте должна обеспечивать взаимосвязь всех звеньев, их функционирование как в автономном режиме, так и в составе линий различной структуры с высоким уровнем автоматизации, унификации, надежности и интеграции НКУ, обладать функциональной и конструктивной взаимозаменяемостью, использовать бесконтактные элементы и микросхемы с высоким уровнем интеграции. В практику разработки унифицированной СЭ должны широко внедряться программно управляемые универсальные микроэлектронные устройства – микропроцессоры, микроэлектронные операционные усилители, микросхемы для запоминающих устройств аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей. Это позволит осуществить высокий уровень автоматизации, при котором участие оператора будет заключаться лишь в периодическом контроле за ходом технологического процесса. При этом, необходимо разработать блочно-модульный принцип построения СЭ и специальной методики ее синтеза при обосновании основных параметров.

### **МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ**

Для обоснования и синтеза унифицированной СЭ в соответствии с блочно-модульным принципом разработан алгоритм, представленный на рис. 1.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ**

На первом этапе проводится исследование технологической линии обработки молока как объекта управления, которое предусматривает построение математических моделей и исследование материальных потоков линии, временных, энергетических режимов работы системы, распределение затрат рабочего времени оператора на управление линией, определение ущербов при отказах СЭ, а также влияние режимов работы системы электрооборудования на показатели качества обрабатываемого молока. На основании проведенных исследований технологической линии обработки молока как объекта управления определяется перечень контролируемых и регулируемых параметров процесса обработки, на основе которых строится функциональная схема автоматизации технологической линии. По имеющимся данным (Цой, Ю. 1998.), на этом этапе целесообразно производить разделение объекта управления на отдельные звенья, а электрооборудования – на функциональные узлы (субблоки), которые служат основой для разработки схем унифицированных субблоков и конструктивных блоков (НКУ) СЭ для всех типов линий.

Разработка и систематизация алгоритмов управления субблоков и НКУ начинается с разделения объекта управления на типовые участки, имеющие аналогичные контролируемые и регулируемые параметры, диапазон их регулирования, а также режимы работы. Это позволяет осуществить классификацию звеньев по выделенным признакам и разделение их по типу исполнительных механизмов. Деление осуществляется по следующим классификационным признакам: принципу действия, параметрам электропривода, условиям функционирования, способу регулирования, производительности, виду управления и т.п. В соответствии с обоснованным перечнем контролируемых и регулируемых параметров, диапазонов их изменения и регулирования, а также технических средств, отражающих состояние объектов управления и функциональных схем автоматизации, синтез алгоритмов управления звеньев линий и их исполнительных механизмов проводится для оборудования типовых участков рассматриваемых линий, выполняющих следующие технологические операции: выведение молока из-под вакуума; прием, учет и перекачка молока на обработку; охлаждение молока; выработка холода; хранение молока; учет и выдача молока с фермы; промывка молочного оборудования.

На втором этапе проводится синтез СЭ (логический синтез), в результате которого осуществляется моделирование дискретным управлением и составляются алгоритмы управления звеньями линии и структурные формулы (логические функции) с формализованной записью, реализующие заданные условия работы оборудования в соответствии с технологическим процессом обработки молока.

Моделирование дискретного управления технологическим процессом звена и его

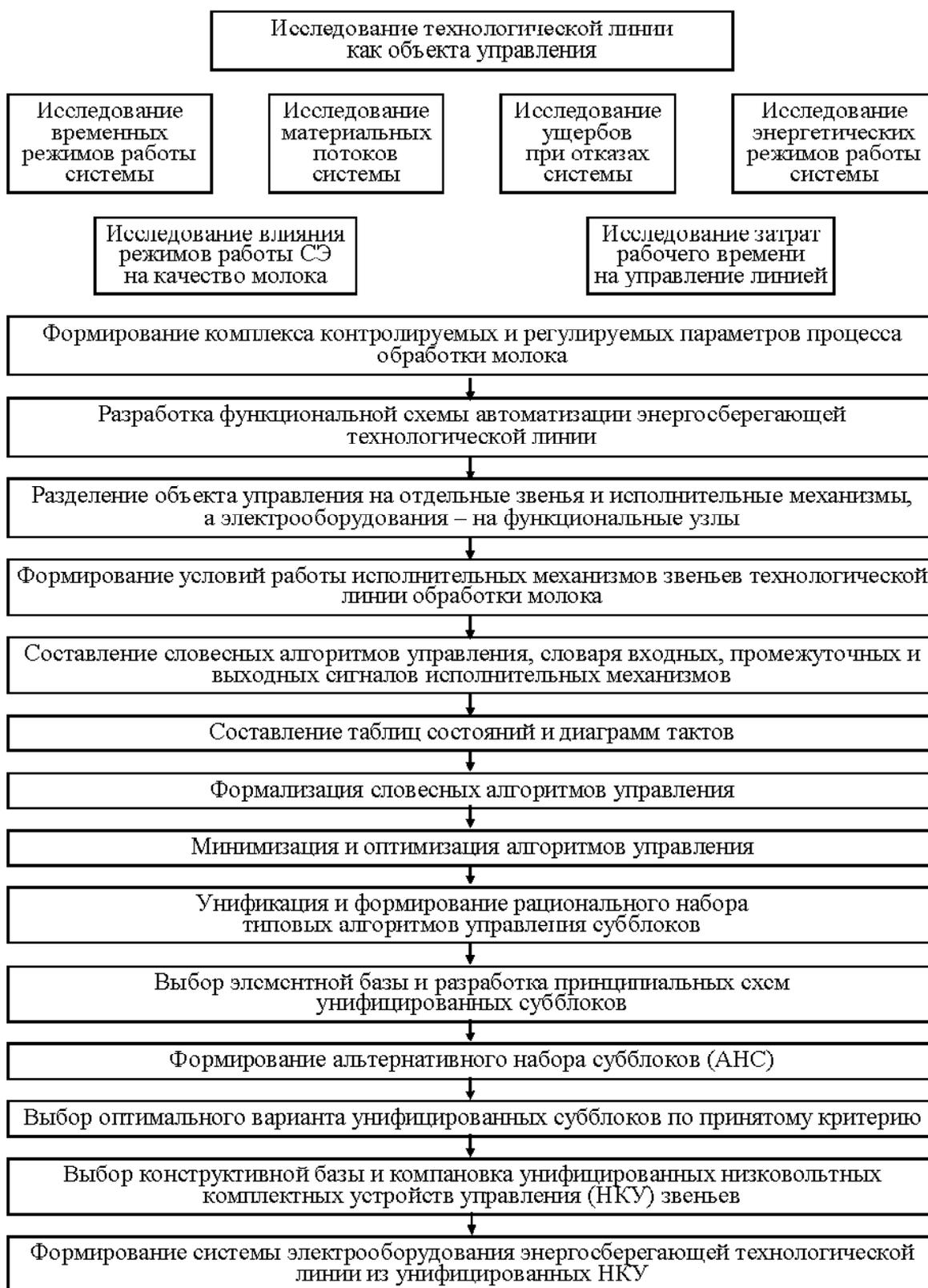


Рис. 1. Алгоритм обоснования и построения блочной двухуровневой унифицированной системы электрооборудования технологических линий обработки молока

исполнительными механизмами осуществляется при переходе из одного состояния в другое (пуск, переход из одного рабочего режима в другой, управление при аварийных ситуациях и т.д.). При этом, математический аппарат, используемый для описания условий перехода из одного состояния в другое и последовательности работы элементов системы управления,

отличается от математического аппарата, используемого для описания работы системы в режиме непрерывного управления. Состояние элементов системы и условия их перехода в другое состояние описываются словесно и в символах алгебры логики. Математическую модель можно получить из графа состояний ее элементов, однако логические функции часто получаются сложными. Для получения окончательного вида логической функции, по которой формируется принципиальная схема устройства управления, необходимо проделать сложные преобразования ее первоначального вида и получить выражение с минимальным количеством элементов функций. Если функция состоит из 3-4 входящих переменных, то, используя правила преобразования логических выражений, можно получить минимизированный алгоритм управления. При большем числе переменных преобразования становятся громоздкими. В этом случае целесообразно использовать машинные методы минимизации логических функций. Выбор конкретного метода синтеза во многом зависит от первоначальной математической модели, которая отражает возможные состояния в ходе выполнения технологического процесса. Поэтому, при ее построении необходимо всестороннее и детальное изучение различных состояний и условий функционирования звена и его исполнительных механизмов, которые должны быть представлены в формализованном виде, с использованием таблицы состояний элементов и графиков.

Основными этапами логического синтеза являются:

– абстрактный синтез, включающий в себя все операции от словесной формулировки условий работы блоков до построения таблиц состояний;

– структурный синтез, включающий все остальные операции вплоть до построения структуры блоков, реализуемых на определенной элементной базе.

Под алгоритмом управления понимается формальное предписание, на основании которого можно получить требуемое решение поставленной задачи – функционирование звеньев и линии в целом. Соответственно, формализация алгоритма управления есть процесс четкого математического описания процесса обработки молока с необходимой степенью приближения к действительности. Применяя равносильные преобразования и различные методы минимизации алгоритмов управления в формализованном виде, можно получить структуру блока, содержащего минимальное количество элементов релейного действия, структура такого блока будет являться оптимальной (Мусин, А., Марьяхин, Ф., Учеваткин, А. 2012).

Основным структурным элементом (блоком) СЭ является НКУ, которое реализует алгоритм управления всеми исполнительными механизмами звена **Фнк<sub>уj</sub>** согласно требуемому процессу. НКУ представляет собой функционально и конструктивно объединенную совокупность субблоков

$$\mathbf{Fнк}_{уj} = \mathbf{e} [F(Y_1), F(Y_2), F(Y_3), \dots, F(Y_i), \dots, F(Y_n)] , \quad (1)$$

где **Фнк<sub>уj</sub>** – алгоритм управления j -го НКУ; **F(Y<sub>i</sub>)** – алгоритм управления i - госубблока; **k** – количество субблоков в j НКУ.

Субблок является базовым элементом и представляет собой функциональный узел, имеющий законченное схемное решение. Он реализует элементарный алгоритм **F(Y<sub>i</sub>)** и выполняет определенную операцию управления **f(y)** или функцию формирования **f(P)**, контроля **f(t)**, усиления **f(d)**, преобразования сигналов **f(z)**, сигнализацию **f(h)** и т.п.

$$F(Y_i) = \mathbf{e} [f(y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_n); f(p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_n); f(t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_n); f(d_1, d_2, \dots, d_i, \dots, d_n); f(z_1, z_2, \dots, z_i, \dots, z_n); f(h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_n) \dots ] , \quad (2)$$

где **(y<sub>1</sub>, y<sub>2</sub>, ..., y<sub>i</sub>, ..., y<sub>n</sub>)**; **(p<sub>1</sub>, p<sub>2</sub>, ..., p<sub>i</sub>, ..., p<sub>n</sub>)**; **(t<sub>1</sub>, t<sub>2</sub>, ..., t<sub>i</sub>, ..., t<sub>n</sub>)**; **(d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub>, ..., d<sub>i</sub>, ..., d<sub>n</sub>)**; **(z<sub>1</sub>, z<sub>2</sub>, ..., z<sub>i</sub>, ..., z<sub>n</sub>)**; **(h<sub>1</sub>, h<sub>2</sub>, ..., h<sub>i</sub>, ..., h<sub>n</sub>)** - соответственно возможные значения входных параметров (сигналов).

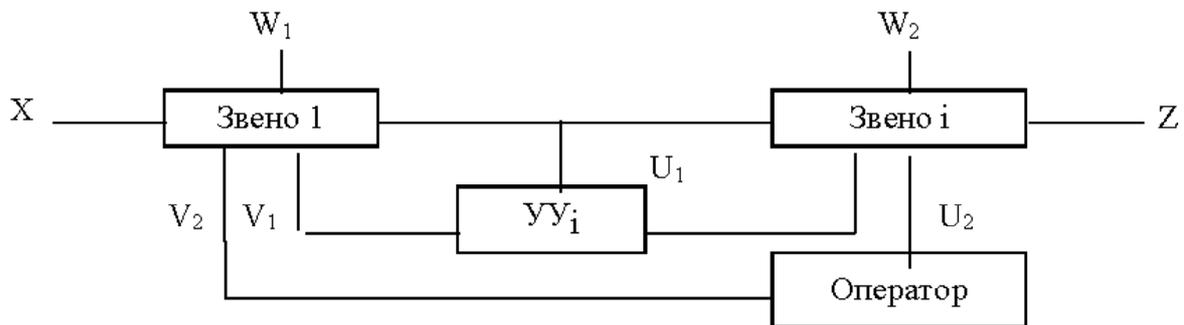
Далее, на основании вышеизложенного, логический синтез выполняется в следующей последовательности:

- 1) формирование условий работы исполнительных механизмов звеньев линии;
- 2) составление словесных алгоритмов управления и словаря входных, промежуточных и выходных сигналов;
- 3) составление таблиц состояний и диаграмм тактов;
- 4) формализация словесных алгоритмов управления;

5) минимизация и оптимизация алгоритмов управления.

Алгоритмы управления первоначально формируются исходя из условий работы исполнительных механизмов звеньев линии в виде словесного предписания (технического регламента), определяющего последовательность функционирования средств автоматизации при различных производственных ситуациях. Наличие такого предписания является необходимым, но недостаточным для разработки средств логического управления, так как оно обычно содержит высказывания, которые могут быть истолкованы по-разному и не полностью отражать все необходимые условия перехода от одного режима к другому. Поэтому должна быть строгая формализация, допускающая только однозначное выполнение всех требуемых команд. В качестве информации о состоянии элементов системы используются сигналы двух уровней: **0** и **1**. В общем случае состояние объекта в каждый момент времени характеризуется совокупностью дискретных значений **0** или **1**.

Состояние объекта управления характеризуется двоичными значениями **N** параметров. Число возможных состояний объекта  $K = 2^N - 1$ . При увеличении **N** значение **K** становится настолько большим, что анализировать их становится невозможным. В реальных же технологических процессах не все состояния имеют место. Для математической модели целесообразно выбирать те комбинации параметров, которые действительно могут возникнуть в ходе выполнения технологического процесса. Поэтому составление математических моделей системы в целом следует начинать с моделирования и изучения всех реально возможных ситуаций, как штатных, так и аварийных. Для наглядного представления функционирования системы, как правило, составляется граф или перечень состояний и диаграммы тактов. В процессе функционирования система может иметь **K** состояний ( $S_1, S_2, S_3, \dots, S_i, \dots, S_k$ ). Каждое состояние  $S_i$  характеризуется комбинацией входных сигналов  $X, W_1, W_2$ , внутренних сигналов ( $U_1, U_2, V_1, V_2$ ), представленных в виде двоичных символов



$$S_i = x_1 \times x_2 \times x_3 \times \dots \times x_n \times w_1 \times w_2 \times w_3 \times \dots \times w_m \times \dots \times w_{21} \times w_{22} \times w_{23} \times \dots \times w_{2f} \times u_{11} \times u_{12} \times u_{13} \times \dots \times u_{1t} \times \dots \times u_{21} \times u_{22} \times u_{23} \times \dots \times u_{2h} \times v_{11} \times v_{12} \times v_{13} \times \dots \times v_{1d} \times v_{21} \times v_{22} \times v_{23} \times \dots \times v_{2y}, \quad i=1 \dots k, \quad (3)$$

где **n, m, f, t, h, d, y** – числа соответствующих сигналов, действующих в системе. Если состояние системы безразлично к значению некоторых сигналов, то они в этом выражении будут отсутствовать.

Внутренние связи системы отражаются уравнениями  $V_2 a = f_1(U_1), a = 1 \dots h; V_1 b = f_2(U_2), b = 1 \dots y$ . Математическая модель системы будет представлять собой логическую сумму  $S = \sum S_i, i=1 \dots k$ . Полученная таким образом математическая модель громоздка и неудобна для анализа.

В зависимости от режимов работы технологической линии множество состояний системы целесообразно разбить на непересекающиеся или частично пересекающиеся подмножества и анализировать их по отдельности. Такое представление математической модели соответствует блочному принципу построения по функциональному признаку как самой линии и звеньев, так и системы управления. После анализа рассматриваемых подмножеств можно рассматривать их связи между собой и таким образом смоделировать блочную структуру системы электрооборудования. Основными режимами в ходе выполнения технологического процесса обработки являются следующие: пуск, рабочий режим, останов, аварийный режим. Пуск и останов обычно осуществляют одним блоком управления, рабочий режим может состоять из двух или нескольких режимов.

Для построения таблиц состояний режимов технологического процесса используют метод

автоматных графов (Мусин, А. 2013). Все возможные (с точки зрения требований технологического процесса) для рассматриваемого режима состояния контролируемых и регулируемых параметров сводят в таблицу так называемых кортежей параметров, которую называют  $X$  – таблицей.

Таблица 1.  $X$ -таблица

$S Y_X^i$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	...	$X_i$	...	$X_n$
$i = 1$	1	0	1	...	0	...	1
$i = 2$	0	1	0	...	1	...	0
$i = 3$	1	1	0	...	0	...	1
...	...	...	...	...	...	...	...
$i = \mu$	0	0	1	...	1	...	1

Каждому состоянию (в таблице это – строка) присваивается свой идентификатор  $S Y_X^i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, m$ ). В каждой строке проставляется состояние параметров  $X$  (1 – соответствует «Да», 0 – «Нет»). Если значение параметра не влияет на рассматриваемое состояние, то эта клетка остается пустой. Аналогичным образом строят таблицы состояний – кортежей для всех исследуемых режимов. Если для каждого состояния системы из таблицы выписать соответствующие кортежи, то получим логические уравнения, описывающие это состояние, включая необходимые управляющие воздействия, а совокупность таблиц будет представлять собой математическую модель рассматриваемой системы. Полученные таким образом логические уравнения (алгоритмы управления) необходимо минимизировать, так как они содержат много повторяющихся логических операций. Минимизация уравнений необходима также при разработке принципиальных схем и их аппаратной реализации. При этом минимизированные алгоритмы управления должны быть приведены в соответствие с типом применяемой элементной базы.

На третьем этапе на основании сравнения и объединения частных алгоритмов управления, полученных на предыдущих этапах, осуществляется построение обобщенных алгоритмов управления для однотипных групп исполнительных механизмов внутри одной рассматриваемой технологической системы, а также для различных звеньев технологических линий. Объединение алгоритмов производится по критерию сходства, принципу идентичности составляющих сигналов в структурных формулах и по виду оперативного управления. На основе полученных обобщенных алгоритмов управления осуществляется унификация и формирование рационального набора типовых алгоритмов управления, как основы для построения системы унифицированных субблоков.

Разработка субблоков унифицированной СЭ технологических линий обработки молока проводится на основе следующих принципов и ограничений.

1. Каждый субблок должен являться законченным функциональным узлом, реализующим основные логические функции управления отдельными исполнительными механизмами.

$$F(Y_i) = e \left[ f(Y_i); f(P_i); f(T_i); f(D_i); f(H_i); f(Z_i); \dots \right]; \quad (4)$$

где  $f(Y_i)$ ,  $f(P_i)$ ,  $f(T_i)$ ,  $f(D_i)$ ,  $f(H_i)$ ,  $f(Z_i)$  – логические функции управления отдельными исполнительными механизмами;  $n$  – количество исполнительных механизмов.

2. Алгоритмы, на основе которых разрабатываются субблоки  $F(Y_i)$ , должны быть минимизированы и унифицированы  $Y[F(Y_i)]$ .

$$Y[F(Y_i)] = e \{ n[f(Y_i)]; n[f(P_i)]; n[f(T_i)]; n[f(D_i)]; n[f(H_i)]; n[f(Z_i)]; \dots \}; \Rightarrow \min, \quad (5)$$

где  $Y[F(Y_i)]$  – унифицированный алгоритм управления  $i$ -м исполнительным механизмом;  $n[f(Y_i)]$ ,  $n[f(P_i)]$ ,  $n[f(T_i)]$ ,  $n[f(D_i)]$ ,  $n[f(H_i)]$ ,  $n[f(Z_i)]$  – множество логических функций управления  $f(y)$  или функций формирования  $f(P)$ , контроля  $f(t)$ , усиления  $f(d)$ , преобразования сигналов  $f(z)$ , сигнализации  $f(h)$  исполнительными механизмами.

3. Алгоритм субблока должен являться кратным элементом алгоритма соответствующих НКУ.  

$$F(Y_i) \Rightarrow O[n_1(F_{нкy1}), n_2(F_{нкy2}), \dots, [n_i(F_{нкy_i})], \dots, [n_j(F_{нкy_j})], \quad (6)$$

Где  $[n(F_{нкy_j})]$  – множество субблоков  $j$  - го НКУ.

4. В пределах исследуемой СЭ должна обеспечиваться максимальная применяемость и повторяемость алгоритма управления  $V[F(Y_i)]$  каждого субблока.

$$V[F(Y_i)] \Rightarrow \{[n_1(F_{нкy1}), [n_2(F_{нкy2}), \dots, [n_i(F_{нкy_i})], \dots, [n_j(F_{нкy_j})]\} \rightarrow \max, \quad (7)$$

где  $V[F(Y_i)]$  – применяемость и повторяемость субблока в НКУ.

5. При отказах оборудования в алгоритмах управления субблоков должны предусматриваться своевременное оповещение оператора об аварийной ситуации и возможность выполнения технологической операции в ручном режиме управления.

6. Вариант аппаратурной реализации каждого субблока не должен оказывать непосредственного влияния на аппаратурную реализацию других субблоков в пределах НКУ, а аппаратурная (номенклатурная) избыточность должна быть равна нулю.

$$I[F(Y_i)] = 0, \quad (8)$$

где  $I[F(Y_i)]$  – аппаратурная (номенклатурная) избыточность субблоков и НКУ.

7. Затраты на НКУ должны быть минимальными при условии минимума приведенных затрат на каждый субблок с учетом сроков службы субблоков и НКУ.

$$Z_{нкy_j} = [e (K_{ij} \rightarrow \min )] \rightarrow \min, \quad (9)$$

где  $Z_{нкy_j}$  – приведенные затраты на  $j$  – ое НКУ;  $K_{ij}$  – приведенные затраты на  $i$ -й субблок с учетом срока службы  $j$  - го НКУ.

Указанные принципы реализуются путем применения алгоритмической матрицы, построенной в координатах НКУ – субблок и имеющей  $n$  строк и  $k$  столбцов, где  $n$  – количество типополнений НКУ  $j$ -звена;  $k$  – количество субблоков в типополнениях НКУ этого звена.

На последнем этапе осуществляется выбор элементной базы и разработка принципиальных схем унифицированных субблоков. При этом производится составление алгоритмов управления, их использования и выбор критерия сравнения и оптимального варианта субблоков.

Исследования ряда авторов (Назаров, Г., Зуль, Н., Марьяхин, Ф., 2009; Учеваткин, А. 2006) показали, что синтез СЭ любого технологического объекта является процессом с неоднозначным результатом. Как правило, многовариантные решения появляются уже на стадии разработки принципиальных схем, за счет возможной реализации одного и того же алгоритма управления несколькими отличающимися по конфигурации схемными вариантами, причем по количеству элементов, т.е. с точки зрения минимизации, такие варианты могут быть равноценными и описываться одинаковыми логическими формулами.

Количество возможных вариантов субблоков существенно возрастает и на стадии их аппаратурной реализации, когда производится выбор конкретных пуско-защитных и коммутационных аппаратов, промежуточных реле, реле времени, переключателей, контрольно-измерительной аппаратуры, средств автоматизации и технологической защиты.

**Таблица 2.** Алгоритмическая матрица формирования типополнений НКУ из минимизированных алгоритмов управления унифицированных субблоков

Типополнение	Минимизированные алгоритмы управления унифицированных субблоков						
	$F(Y_1)$	$F(Y_2)$	$F(Y_3)$	...	$F(Y_i)$	...	$F(Y_k)$
НКУ $j$ -звена	$F(Y_1)$	$F(Y_2)$	$F(Y_3)$	...	$F(Y_i)$	...	$F(Y_k)$
НКУ 1	$F(Y_1)$	-	$F(Y_3)$	...	-	...	$F(Y_k)$
НКУ 2	$F(Y_1)$	$F(Y_2)$	$F(Y_3)$	...	$F(Y_i)$	...	$F(Y_k)$
...	...	...	...	...	...	...	...
НКУ $j$	$F(Y_1)$	$F(Y_2)$	$F(Y_3)$	...	$F(Y_i)$	...	-
...	...	...	...	...	...	...	...
НКУ $n$	$F(Y_1)$	$F(Y_2)$	$F(Y_3)$	...	-	...	$F(Y_k)$

Эти элементы могут использовать широкий класс исполнительных механизмов и элементов – магнитоуправляемых контактов, бесконтактных схем, логических элементов и интегральных микросхем, в том числе с высоким уровнем интеграции.

Разработка принципиальных унифицированных субблоков осуществляется в следующей последовательности (Суворин, Ю. 2008). На основе типовых формализованных и минимизированных алгоритмов управления исполнительными механизмами звеньев и наличия совокупности элементов, которые с учетом номенклатурных и параметрических ограничений могут быть использованы для формирования субблоков, осуществляется выбор оптимального варианта по выбранному критерию. Задача поиска оптимального варианта унифицированных субблоков является комплексной и достаточно сложной в математическом отношении из-за многокритериальности показателей эффективности и многофакторности исходных данных (Суворин, Ю. 2008). Поэтому, при формировании принципиальных схем субблоков проведена разработка альтернативного набора субблоков (АНС), реализующих типовые алгоритмы управления на различной элементной и конструктивной базе.

Эффективность каждого субблока определяется его стоимостью и режимами работы в конкретном НКУ. Основной характеристикой субблока является его стоимость за срок службы, определяемый сроком службы наименее долговечного элемента. Длительность работы, стоимость замены и ремонта субблока определяется режимом его работы в конкретном НКУ.

Для выбора субблока из комплекта АНС для  $j$  – НКУ предложен следующий критерий [7]:

$$\left. \begin{aligned} K_{ij} &= 3_i \cdot D_{ij} + Y_{ij} \cdot (D_{ij} - 1) \\ D_{ij} &= T_j / T_i, \text{ при } T_i < T_j, \\ D_{ij} &= 1, \text{ при } T_i > T_j, \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Где  $3_i$  – приведенные затраты (стоимость)  $i$ -го субблока АНС, в лаях;  $Y_{ij}$  – стоимость замены  $i$ -го субблока в  $j$ -ом НКУ, в лаях;  $T_i, T_j$  соответственно срок службы  $i$ -го субблока в  $j$ -ом НКУ, лет.

Из выражения (10) следует, что при  $D_{ij} = 1$ ,  $K_{ij} = 3_i$ .

На следующем этапе осуществляется выбор конструктивной базы и компоновка унифицированных блоков (НКУ) по звеньям или участкам линии, образующих функционально полный параметрический ряд с наименьшим количеством типов субблоков в НКУ и максимально возможным использованием элементов в субблоках (Учеваткин, А. 2006; Суворин, Ю. 2008). Целевая функция при выборе варианта системы электрооборудования, построенной по блочно-модульному принципу на основании унифицированных субблоков, определяется выражением [7].

$$K_{\text{л}} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^k K_{ij} \rightarrow \min \quad (11)$$

где  $k$  – количество субблоков электрооборудования  $j$ -го варианта НКУ системы;

$m$  – количество НКУ в системе.

При компоновке унифицированного блока (НКУ) на основании анализа технологических задач автоматизированной установки (или звена) и функционального назначения ее исполнительных механизмов определяется необходимый набор субблоков и составляется структурная схема НКУ, учитывающая все необходимые связи между субблоками и отражающая функциональные особенности данной схемы, а также возможности и способы ее перестройки при изменении технологических задач (Суворин, Ю. 2008). При составлении структурной схемы НКУ из унифицированных субблоков необходимо стремиться к тому, чтобы количество различных типов субблоков было по возможности минимальным (Учеваткин, А. 2006; Суворин, Ю. 2008).

## ВЫВОДЫ

Предложенный метод, включающий разделение объекта управления на отдельные звенья и исполнительные механизмы, а электрооборудования на субблоки, которые являются основным базовым элементом СЭ, позволяет обосновать и разработать гибкую СЭ по блочно-модульному принципу без номенклатурной избыточности с учетом функциональных особенностей данной

системы и возможностей ее перестройки на стадии проектирования при изменении технологических задач.

Предложенная алгоритмическая таблица, построенная в координатах НКУ – субблок, позволяет осуществлять схемную унификацию НКУ для каждого типа технологического оборудования.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ВОЛКОНОВИЧ, Л., МУСИН, А., ВОЛКОНОВИЧ, А. и др. (2007). Автоматизация ресурсосберегающих технологических процессов в сельском хозяйстве. Кишинев. 341 с.
2. МУСИН, А., МАРЬЯХИН, Ф., УЧЕВАТКИН, А. (2012). Влияние режимов работы электроприводов технологической линии на показатели качества обрабатываемого молока. В: Автоматизированный электропривод в с.-х. производстве: сб. науч. тр. Т. 63, с. 17-26.
3. МУСИН, А. (2013). Энергетика и экология технологических процессов животноводческих ферм. В: Энергосберегающие технологии в сельском хозяйстве: сб. науч. тр. Т. 81, с. 36-47.
4. НАЗАРОВ, Г., ЗУЛЬ, Н., МАРЬЯХИН, Ф. (2009). Автоматизированный электропривод поточных линий. Вып. 1(28).
5. СУВОРИН, Ю. (2008). Обоснование и разработка системы унифицированного электрооборудования для поточных технологических линий: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Москва.
6. УЧЕВАТКИН, А. (2006). Обоснование и разработка унифицированной системы электрооборудования технологических линий первичной обработки молока на фермах и комплексах: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Москва.
7. ЦОЙ, Ю. А. (1998). Механико-технологическое обоснование повышения эффективности механизированных поточных линий доения и первичной обработки молока: Автореф. дисс. ... д-ра техн. наук. Москва. 38 с.

Data prezentării articolului: 24.02.2015

Data acceptării articolului: 15.04.2015