

**Список литературы:** 1. Бэстэнс Д.-Э., Ван Ден Берг В.-М., Вуд Д. Нейронные сети и финансовые рынки. Принятие решений в торговых операциях. М.: Научное издательство ТВИ, 1997. 236 с. 2. Руденко О.Г., Бодянский Е.В. Основы теории искусственных нейронных сетей. Х.: ТЕЛТЕХ, 2002. 317 с. 3. Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. И.Д.Рудинского. М.: Горячая линия–Телеком, 2004. 452 с. 4. Лиховидов В.Н., Сафин В.И. Технический анализ валютных рынков. Владивосток: Изд-во ДВГАЭУ, 1998. 200 с. 5. Bartlett P., Downs T. Training a neural networks with a genetic algorithm, Tehnical Report, Dept. of Elec. Eng., Univ. of Queensland, 1990. 264 p. 6. Shonkwiler R., Miller K.R. Genetic algorithm, neural network synergy for nonlinearly constrained optimization problems// Proceedings of International Workshop on Combinations of Genetic Algorithms and Neural Networks, COGANN-92, 1992. 348 p. 7. Лукашин Ю. П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов. М.: Финансы и статистика, 2003. 416 с. 8. Дубров А.М., Мхитарян В.С., Трошин Л.И. Многомерные статистические методы: Учебник. М.: Финансы и статистика, 2000. 352 с. 9. Марк Т. Технический анализ - новая наука. М.: Диаграмма, 1997. 10. Davis L., Handbook of Genetic Algorithms. Van Nostrand Reinhold, NY, 1991. 563 p. 11. Аналитический пакет. Deductor Professional. Руководство пользователя. BaseGroup Labs, 2002. 196 с. 12. Уолем Т. Дж., Паррамоу К. Количественные методы в финансах: Учебное пособие для ВУЗов: Пер. с англ. под ред. М. Р. Ефимовой. М: Финансы, Юнити, 1999. 527 с.

*Поступила в редколлегию 30.06.2008*

**Шамша Борис Владимирович**, канд. техн. наук, профессор кафедры ИУС ХНУРЭ. Научные интересы: разработка эффективных методов кластеризации в ИУС. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-14-51.

**Морозова Олеся Сергеевна**, аспирантка кафедры ИУС ХНУРЭ. Научные интересы: разработка эффективных методов кластеризации в ИУС. Адрес: Украина, 61166, Харьков, ул. Бакулина, 14, кв. 6, тел. 702-25-42.

---

УДК 007.51

*М.С. КУДРЯВЦЕВА*

## **МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ И ФОРМИРОВАНИЯ ВАРИАНТОВ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧИ ЛИКВИДАЦИИ НАРУШЕНИЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

---

Предлагается общая структурная схема описания процесса функционирования устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики электроэнергетического комплекса, на основании которой разрабатывается математическая модель описания процесса функционирования устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики. В рамках данной структурной схемы разрабатываются алгоритм функционирования и предварительной оценки работы устройств релейной защиты и автоматики, алгоритм оценки работы устройств РЗА. На основании данных алгоритмов с использованием модифицированного аппарата регулярных схем алгоритмов разрабатываются модель формирования вариантов решений задачи ликвидации нарушений работы оборудования, связанных с неправильными срабатываниями и отказами устройств релейной защиты и автоматики, модель оценки работы устройств РЗА.

### **1. Введение**

Электроэнергетическое оборудование является основой построения любых энергетических систем. Его уровень определяет надежность и устойчивость всей системы, качество энергоснабжения потребителей.

Повышение надежности поставки электроэнергии в Украине, и в первую очередь снижение и быстрое устранение возникающих аварий, накладывает жесткие требования к электроэнергетическому и электротехническому оборудованию и, главным образом, к системам контроля и управления – устройствам автоматического управления электроэнергетическим комплексом (устройствам релейной защиты и автоматики (РЗА), устройствам противоаварийной автоматики (ПА), автоматизированным системам управления, системам контроля и диагностики электрооборудования и энергетического хозяйства в целом [1]).

За последние двадцать лет в ведущих зарубежных странах произошла революция в области аппаратных средств и функциональных возможностей таких систем контроля и

управления на базе современных достижений в микропроцессорной и оптоволоконной технике. В Украине свыше 98% находящейся в эксплуатации аппаратуры автоматического управления оборудованием физически и морально устарело, так как выполнено на электро-механической и микроэлектронной элементной базе, что сокращает возможности регистрации поведения измерительных и реагирующих устройств, анализа правильности их работы и, как результат, сохраняется большой процент неправильных действий этих устройств по вине персонала. Кроме того, срок эксплуатации около 50% устройств релейной защиты и автоматики превышает 25–30 лет при гарантированном среднем сроке службы 12 лет, а последствия неправильной работы устройств могут привести к выводу из строя дорогостоящего силового оборудования или к недоотпуску электроэнергии [2].

Поэтому задача проведения своевременной диагностики и систематического контроля данных устройств является актуальной. На сегодняшний день данная задача решается персоналом служб релейной защиты и автоматики электроэнергетических предприятий на основании действующих инструкций и нормативных документов. Однако в условиях постоянного старения оборудования электроэнергетического комплекса увеличивается количество нарушений, усложняются их последствия, поэтому существующей нормативной базы становится недостаточно.

Таким образом, целью исследования является анализ общих принципов функционирования устройств автоматического управления электроэнергетическим комплексом, разработка структурных схем действия устройств релейной защиты и автоматики и противоаварийной автоматики, алгоритмов функционирования и оценки работы данных устройств, разработка математических моделей оценки и формирования вариантов решений задачи ликвидации нарушений работы оборудования, связанных с неправильными срабатываниями и отказами устройств релейной защиты и автоматики, на основании чего необходимо выявить узкие места работы оборудования.

## **2. Разработка общей структурной схемы и модели описания процесса функционирования устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики**

Общая структурная схема описания процесса функционирования устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики представлена на рис. 1. Данная структурная схема описывает стратегии работы устройств релейной защиты и автоматики и противоаварийной автоматики и дает возможность определить основные эксплуатационные показатели отдельных видов РЗА и ПА.

Для формализации данной структурной схемы целесообразно использовать модифицированный язык регулярных схем алгоритмов с построением на базе его регулярных схем системных моделей (РССМ). РССМ необходимо представить в виде, позволяющем полноценно описать формализуемую структуру [3]:

$$R = f(y_j, x_k, e, \emptyset, \overset{\bullet}{y}, \overset{\vee}{x}, \overset{\wedge}{y}), \quad (1)$$

где  $f$  – закон комбинации базовых процессов РСА;  $y_i$  – элементы алгебры операторов  $R_0$ , определяющие операции функционирования трансформаторного оборудования;  $x_k$  – логические условия (элементы алгебры условий  $R_y$ );  $e$  – тождественно-эквивалентный оператор;

$\emptyset$  – пустой оператор;  $\overset{\bullet}{y}$  – процесс умножения моделей (последовательное выполнение операторов, задач строго в порядке их очередности), обозначается « $\bullet$ »;  $\overset{\vee}{x}$  – X-дизъюнктивный процесс (условное разветвление и соединение путей алгоритма Р вперед в зависимости от

условия  $x_k$ ), обозначается  $(P_\gamma \overset{\vee}{P}_\delta \overset{\vee}{\dots} P_\omega \overset{\vee}{P}_0)$ ;  $\overset{\wedge}{y}$  – процесс конъюнкции (безусловное разветвление одновременно на выполнение нескольких путей), обозначается « $\wedge$ ».

Используя (1), математическую модель описания процесса функционирования устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики определяем в общем виде:

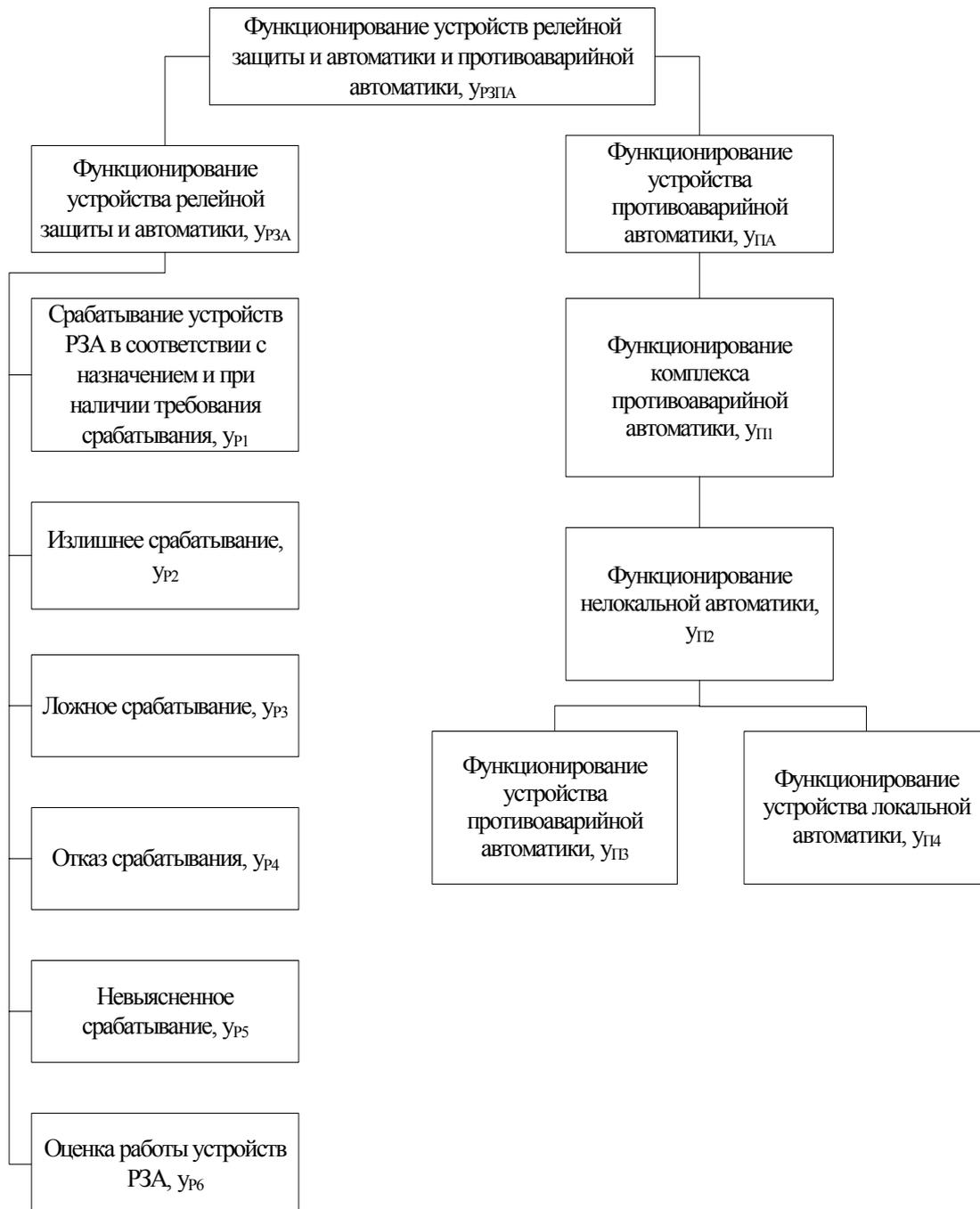


Рис. 1

$$U_{РЗА} = \left( U_{РЗА} \cdot P_{РЗА}^{РЗА} \vee U_{ПА} \cdot P_{ПА}^{x_k} \right), \quad (2)$$

где  $x_k$  – условие выбора устройств автоматического управления электроэнергетическим комплексом:  $k = РЗА$  – устройство релейной защиты и автоматики;  $k=0$  – устройство противоаварийной автоматики;  $U_{РЗА}, U_{ПА}$  – соответственно устройство релейной защиты и автоматики, устройство противоаварийной автоматики;  $P_{РЗА}, P_{ПА}$  – соответствующие пути структурной схемы описания процесса функционирования устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики.

С учетом значений элементов (см. рис. 1) модель примет вид

$$U_{РЗПА} = \left( U_{РЗА} \cdot \left\{ \underset{x_1}{U_{p1}} \cdot U_{p2} \cdot U_{p3} \cdot U_{p4} \cdot U_{p5} \cdot U_{p6} \right\} \vee U_{ПА} \cdot \left\{ \underset{x_2}{U_{п1}} \cdot U_{п2} \cdot (U_{п3} \wedge U_{п4}) \right\} \right)^{x_1 \cdot P_{ЗА}} \cdot \left( \right)^{x_2 \cdot x_k}, \quad (3)$$

где  $u_n$  – процессы, определяющие функционирование устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики, согласно соответствующей структурной схеме,  $n = \{p1..p6, п1..п4\}$ ;  $x_1$  – условие срабатывания устройств релейной защиты и автоматики;  $x_2$  – условие срабатывания устройств противоаварийной автоматики.

### 3. Разработка математической модели формирования вариантов решений задачи ликвидации нарушений работы оборудования, связанных с неправильными срабатываниями и отказами устройств релейной защиты и автоматики

Для более детального исследования работы устройств РЗА и ПА целесообразно рассмотреть алгоритмы функционирования и предварительной оценки работы данных устройств. В качестве примера разработан алгоритм функционирования и предварительной оценки работы устройств релейной защиты и автоматики. Для удобства алгоритм представлен в виде граф-схемы алгоритма (ГСА), приведенной на рис.2-4.

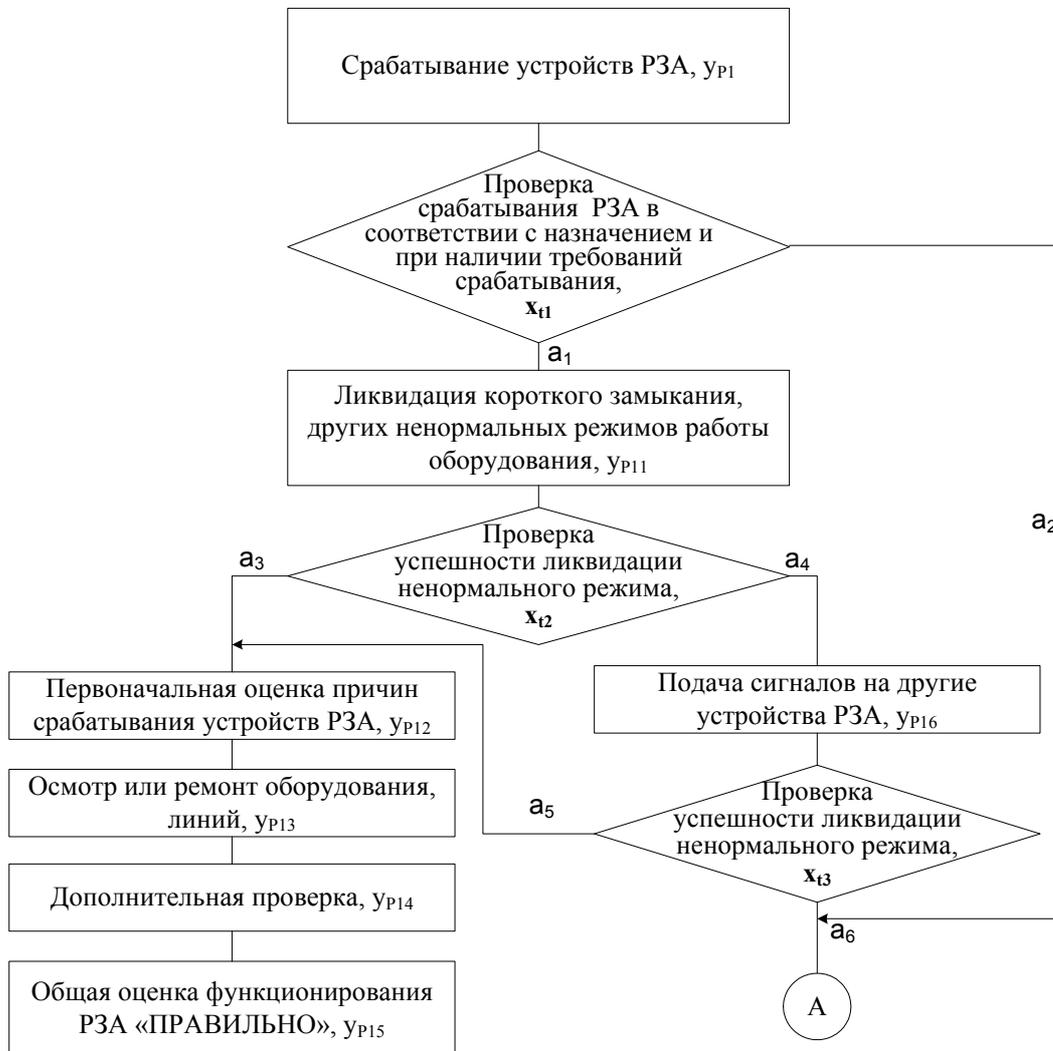


Рис.2

Данный алгоритм описывает стратегии функционирования и оценки работы устройств релейной защиты и автоматики: при срабатывании устройств в соответствии с назначением и при наличии

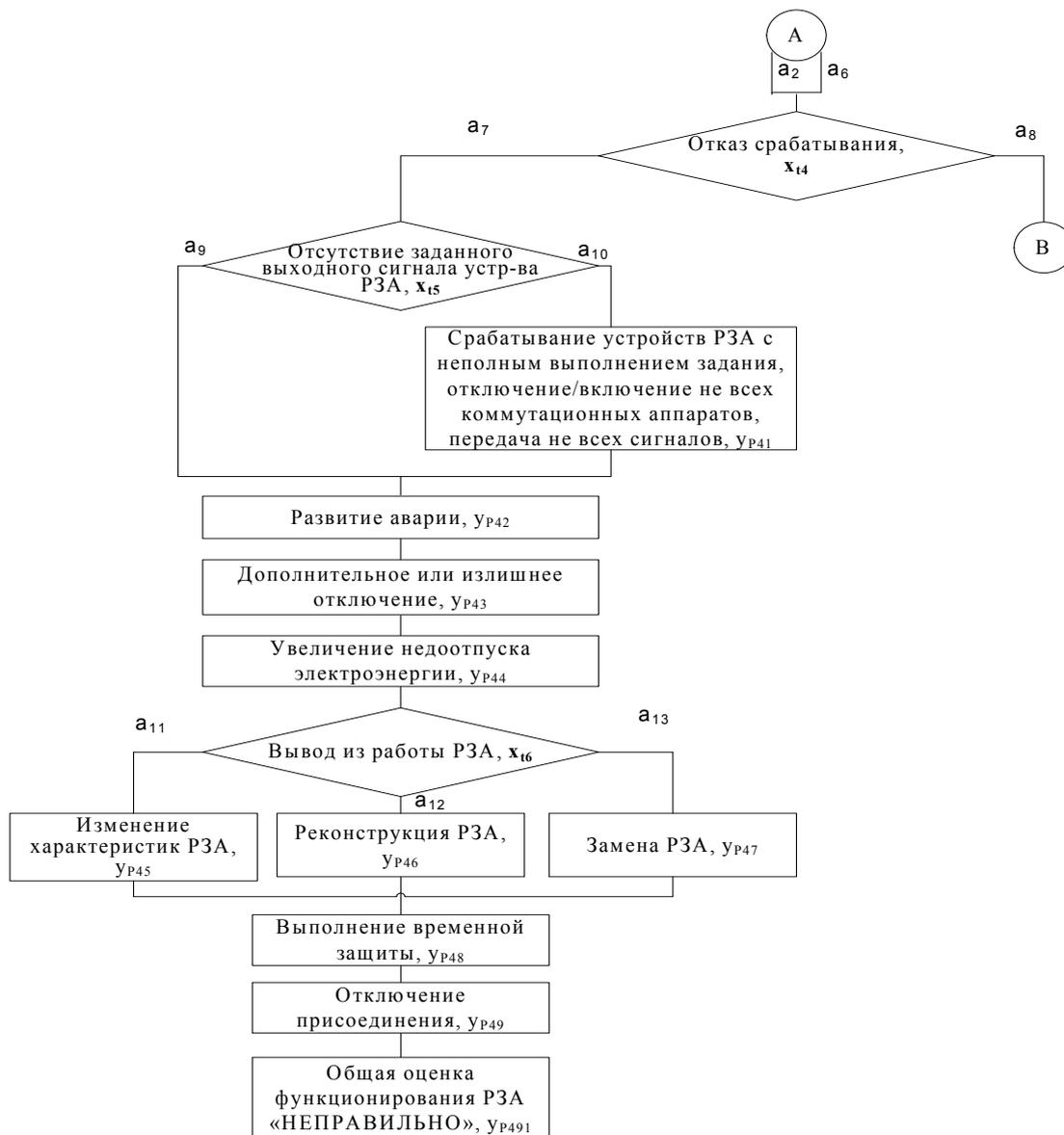


Рис.3

требований срабатывания, при излишнем срабатывании защиты, ложном срабатывании, отказе срабатывания и невыясненном срабатывании и позволяет осуществить формирование вариантов решений для обслуживания поврежденного оборудования и устройств РЗА для сотрудников службы РЗА.

Используя равносильные преобразования алгоритмов из ГСА в РСММ, операторы РСА и сигнатуру процессов модифицированного языка РСА, можно описать любой алгоритм функционирования или управления в виде [3]

$$AF = f(y_j, x_k, e, \emptyset, 0, 1, y, x, x, y), \quad (4)$$

где  $\dot{y}$  – «процесс умножения моделей» (последовательное выполнение операторов, алгоритмов, задач, функционалов строго в порядке их очередности);  $\vee_x$  – «X-дизъюнктивный процесс» (процесс условного разветвления и соединения путей алгоритма вперед в зависимости от условия  $x_k$ );  $^*_x$  – «X-итеративный процесс» (условный возвратный переход в

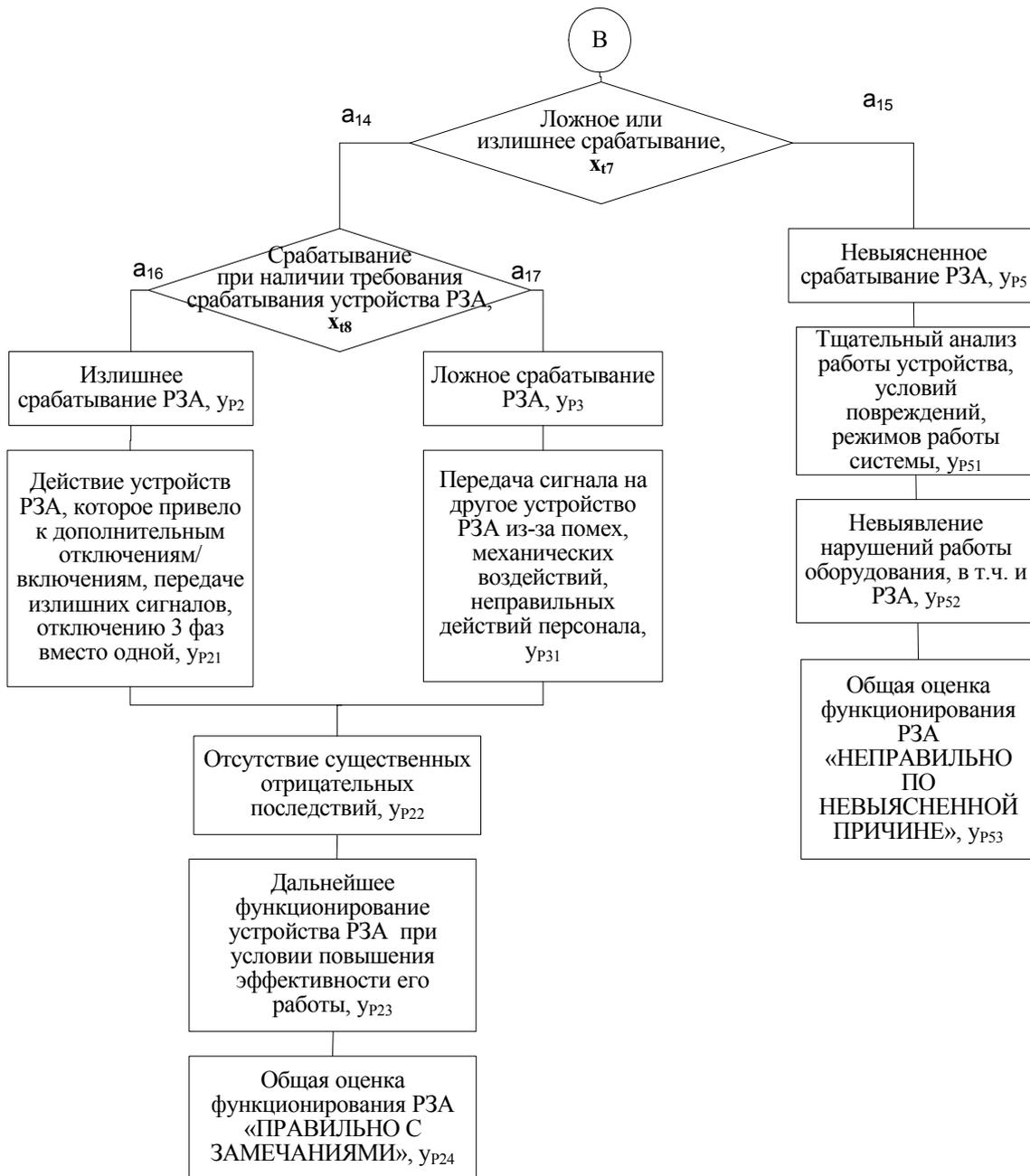


Рис.4

системной модели);  $\hat{y}$  – «процесс конъюнкции моделей» (безусловное разветвление алгоритма одновременно на выполнение нескольких путей алгоритма).

Используя (4), математическую модель формирования вариантов решений задачи ликвидации нарушений работы оборудования, связанных с неправильными срабатываниями и отказами устройств релейной защиты и автоматики, можно представить в виде следующей РССМ:

$$\begin{aligned}
 Y_{PZA} = & y_{p1} \cdot ([x_{t1} = a_1] \cdot y_{p11} \cdot (([x_{t2} = a_3] \cdot y_{p12} \cdot y_{p13} \cdot y_{p14} \cdot y_{p15}) \vee ([x_{t2} = a_4] \cdot y_{p16} \cdot ([x_{t3} = a_5] \times \\
 & \times y_{p12} \cdot y_{p13} \cdot y_{p14} \cdot y_{p15}))) \vee ([x_{t3} = a_6] \vee [x_{t1} = a_2]) \cdot ([x_{t4} = a_7] \cdot (([x_{t5} = a_9] \vee [x_{t5} = a_{10}] \cdot y_{p41}) \times
 \end{aligned}$$

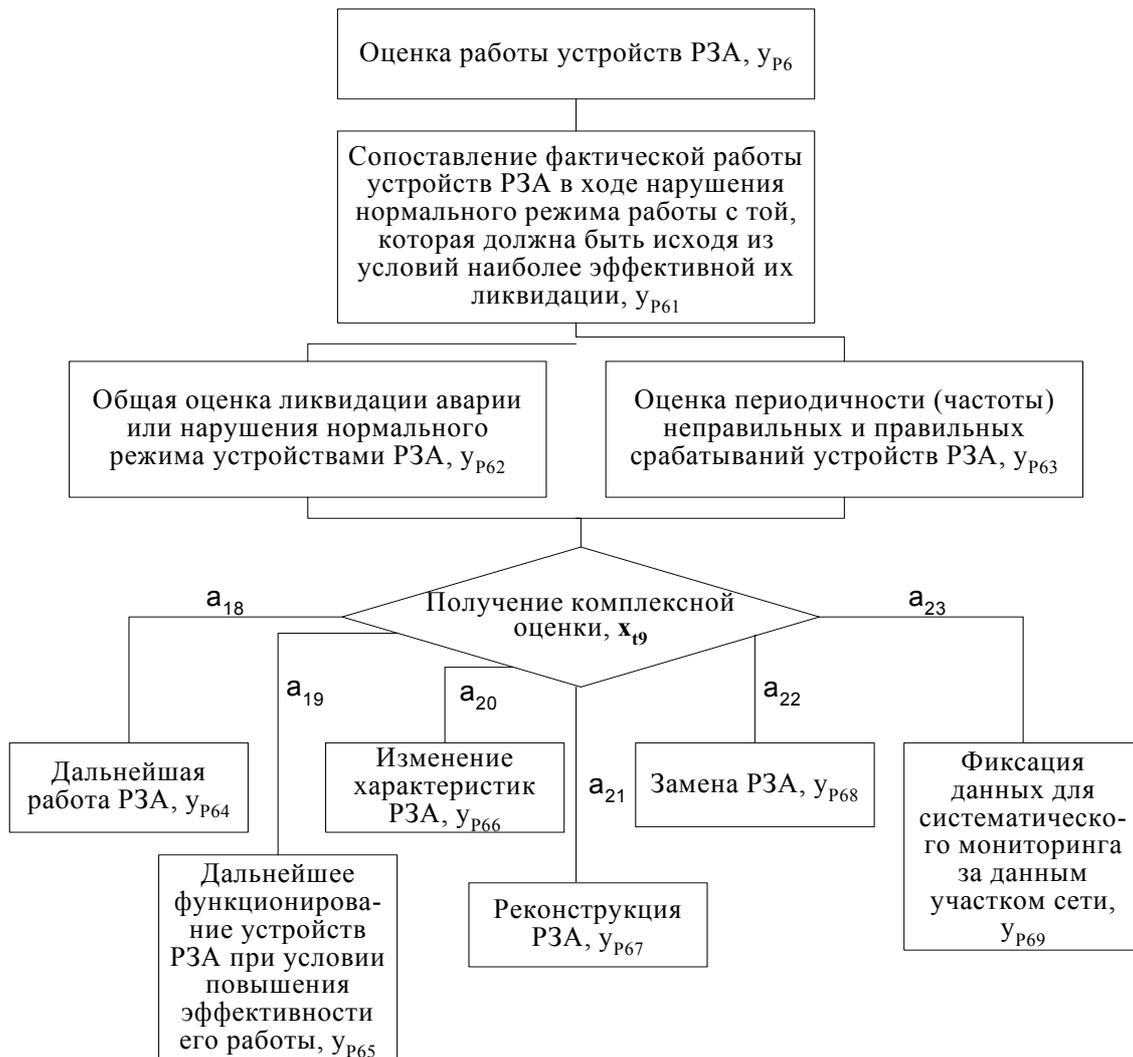


Рис.5

$$\times y_{p42} \cdot y_{p43} \cdot y_{p44}) \cdot ([x_{t6} = a_{11}] \cdot y_{p45} \vee [x_{t6} = a_{12}] \cdot y_{p46} \vee [x_{t6} = a_{13}] \cdot y_{p47}) \cdot y_{p48} \cdot y_{p49} \cdot y_{p491}) \vee \\ \vee ([x_{t4} = a_8] \cdot ([x_{t7} = a_{14}] \cdot ((([x_{t8} = a_{16}] \cdot y_{p2} \cdot y_{p21}) \vee ([x_{t8} = a_{17}] \cdot y_{p3} \cdot y_{p31})) \cdot y_{p22} \cdot y_{p23} \cdot y_{p24}) \vee \\ \vee ([x_{t7} = a_{15}] \cdot y_{p5} \cdot y_{p51} \cdot y_{p52} \cdot y_{p53}))))),$$

где  $y_{pij}$  - процессы функционирования устройств РЗА согласно алгоритму функционирования и предварительной оценки работы устройств релейной защиты и автоматики;  $x_{tk}$  - условия функционирования устройств РЗА согласно алгоритму функционирования и предварительной оценки работы устройств релейной защиты и автоматики;  $a_i$  - варианты решений:  $a_1$  - проверка успешна,  $a_2$  - отсутствие срабатывания при наличии требования срабатывания РЗА;  $a_3, a_5$  - успешно;  $a_4, a_6$  - неуспешно;  $a_7, a_9, a_{14}, a_{16}$  - да;  $a_8, a_{10}, a_{15}, a_{17}$  - нет;  $a_{11}$  - для корректировки параметров работы;  $a_{12}$  - для ремонта, модернизации;  $a_{13}$  - при ремонтпригодности устройства РЗА.

#### 4. Разработка модели оценки работы устройств РЗА

Комплексная оценка работы РЗА осуществляется для выполнения предварительной экспертизы устройств релейной защиты и автоматики на основании алгоритма оценки работы устройств РЗА. Алгоритм представлен в виде ГСА, схема которой приведена на рис.5.

По аналогии с использованием модифицированного аппарата регулярных схем алгоритмов разработана модель оценки работы устройств РЗА:

$$y_6 = y_{p61} \cdot (y_{p61} \wedge y_{p63}) \cdot ([x_{t9} = a_{18}] \cdot y_{p64} \vee [x_{t9} = a_{19}] \cdot y_{p65} \vee [x_{t9} = a_{19}] \cdot y_{p66} \vee [x_{t9} = a_{20}] \times \\ \times y_{p67} \vee [x_{t9} = a_{21}] \cdot y_{p68} \vee [x_{t9} = a_{23}] \cdot y_{p69}),$$

где  $x_{t9}$  – условие выбора вариантов решений при получении комплексной оценки работы РЗА;  $a_1$  – варианты решений согласно алгоритму оценки работы устройств РЗА:  $a_{18}$  – общая оценка функционирования РЗА «правильно»;  $a_{19}$  – общая оценка функционирования РЗА «правильно с замечаниями»;  $a_{20}$  – общая оценка функционирования РЗА «правильно с замечаниями»;  $a_{21}$  – общая оценка функционирования РЗА «неправильно»;  $a_{22}$  – общая оценка функционирования РЗА «неправильно»;  $a_{23}$  – общая оценка функционирования РЗА «неправильно по невыясненной причине».

Окончательное решение о целесообразности изменения характеристик устройств РЗА, реконструкции, замене принимается персоналом служб РЗА на основании проведения экспертизы.

#### 5. Выводы

Разработана общая структурная схема описания процесса функционирования устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики, на основании которой с использованием модифицированного аппарата регулярных схем алгоритмов разработана математическая модель описания процесса функционирования устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики.

В рамках данной структурной схемы разработаны алгоритм функционирования и предварительной оценки работы устройств релейной защиты и автоматики, алгоритм оценки работы устройств РЗА. На основании этих алгоритмов с использованием модифицированного аппарата регулярных схем алгоритмов разработаны модель оценки работы устройств РЗА, модель формирования вариантов решений задачи ликвидации нарушений работы оборудования, связанных с неправильными срабатываниями и отказами устройств релейной защиты и автоматики.

Полученные модели позволяют оценивать соответствие устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики предъявляемым требованиям, их надежность для эксплуатации, выявлять характерные причины их неправильного срабатывания, отказов срабатывания для разработки организационных и технических мероприятий по улучшению характеристик работы данных устройств.

**Список литературы:** 1. ГКУД 34.20.507-2003. Правила. Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. К.: ГРІФРЕ, 2003. 597 с. 2. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. М.: Интермет Инжиниринг, 2005. 672 с. 3. Илюшко В.М. Синтез микропрограммных автоматов на основе регулярных схем алгоритмов // Автоматизированные системы управления. 1981. Вып. 1. С. 69 – 71.

*Поступила в редколлегию 16.06.2008*

**Кудрявцева Марина Сергеевна**, канд.техн.наук, ассистент кафедры ИУС ХНУРЭ. Научные интересы: оценка надежности работы и диагностика электроэнергетического оборудования. Адрес: Украина, 61195, Харьков, ул.Ком. Корка, 50, кв.81, тел. (057) 716-00-16.