

УДК 681.5

## Разработка методов повышения эффективности формирования клеммных соединителей при проектировании монтажной части систем автоматики

А.В. Глязнецова, Е.С. Целищев  
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина»,  
Иваново, Российская Федерация  
E-mail: glyaznetsova@mail.ru, etselishhev@rambler.ru

### Авторское резюме

**Состояние вопроса:** Существующие способы формирования клеммных соединителей, применяемые в различных системах автоматизированного проектирования (Promis-e, E-Plan, AutoCAD Electrical и др.), не позволяют добиться высокой степени автоматизации или хотя бы приблизиться к ней. Необходима разработка новых методов, которые существенно повысят эффективность формирования клеммных соединителей, что позволит снизить трудозатраты, исключить возникновение случайных ошибок и тем самым значительно сократить сроки проектирования монтажной части систем автоматики, повысить качество проектной документации, снизить затраты на этапах монтажа, наладки и эксплуатации систем.

**Материалы и методы:** Для разработки методов повышения эффективности формирования клеммных соединителей использовалась теория множеств, агрегативно-декомпозиционная технология проектирования многокомпонентных электротехнических систем (конкретно – метод синтеза технических структур СКУ на стадии проектирования монтажной модели, основанный на понятии единой модели проекта как источника информации для любой проектной процедуры). Исследование существующих способов формирования клеммных соединителей выполнено на основе анализа различных систем автоматизированного проектирования.

**Результаты:** Рассмотрены методы формирования соединительных коробок, клеммников щитов, в которых учитываются дополнительные операции обработки клеммников (добавление резервных клемм, подключение экранов кабелей, разводка токовой петли и др.).

**Выводы:** Разработанные методы применяются в САПР AutomatiCS при проектировании монтажной части систем автоматики. Использование разработанных методов позволяет достичь высокой степени автоматизации при проектировании клеммных соединителей, недостижимой в традиционных технологиях проектирования, применяемых в указанных выше системах.

**Ключевые слова:** клеммные соединители, элемент, электрическая связь, клемма, функциональный элемент, транзитный элемент, автоматизация проектирования.

## Development of Methods for Increasing Effectiveness of Clip Connections in Designing Installation Element of Automation Systems

A.V. Glyaznetsova, E.S. Tselishchev  
Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo, Russian Federation  
E-mail: glyaznetsova@mail.ru, etselishhev@rambler.ru

### Abstract

**Background:** The existing methods for creating clip connections, which are used in different CAD-systems (Promis-e, E-Plan, AutoCAD Electrical, etc.), do not allow to get a high degree of automation or even approach to it. It is necessary to develop new methods, which can increase the effectiveness of forming clip connections. It allows to decrease the working hours, exclude the accidental mistakes, cut down the design period of installation elements of automation systems, increase the quality of designed documentations, cut down the expenses during installation, setup and system operation.

**Materials and methods:** The set theory, aggregative and decomposed technology of multicomponent electrotechnical systems (particularly, the synthesis method of technical structures while designing installation elements, based on united project model as an information resource for any designing procedure) are used for increasing the effectiveness of forming clip connections. The research of the existing ways of forming clip connection is carried out on the basis of the analysis of different systems of the computer-aided design.

**Results:** The new methods of forming connecting boxes and terminal blocks where the additional operations of terminal blocks treatment (adding the reserve terminals, cable screen connection, saw setting of loop, etc. ) are taken into account, are developed. These methods are used in CAE AutomatiCS and approved in different design engineering organizations for the purpose of clip connection automated design.

**Conclusions:** The developed methods are applied in CAE AutomatiCS for designing the installation elements of automation systems. These methods allow to achieve a high degree (about 90%) of automation while designing clip connections, that is unachievable in traditional designing technologies, applied in the mentioned systems.

**Key words:** clip connections, element, connection, clip (terminal), functional element, transit element, designing automation.

**Введение.** В настоящее время для разработки проектной документации на стадии конструкторского проектирования АСУТП применяются

системы автоматизированного проектирования [1], поскольку это позволяет значительно сократить трудозатраты, снизить количество ошибок и тем самым повысить качество

и тем самым повысить качество проектирования в целом. Одним из основных этапов конструкторско-проектирования является разработка монтажной части систем автоматики, в том числе, распределение сигналов принципиальной схемы по клеммникам соединительных коробок, щитов, объединение проводников в кабели и др.

В настоящее время известно множество способов формирования клеммных соединителей в рамках различных технологий проектирования. Ниже приводится классификация этих способов, выполненная на основе анализа технологий проектирования, используемых в таких системах автоматизированного проектирования, как Promis-e, E3, E-Plan, AutoCAD Electrical, AutomatiCS, САПР Альфа, Smart Plant Instrumentation, Plant 4D E&I (рис. 1).

Проведенные исследования различных способов формирования клеммных соединителей позволили провести экспертную оценку степени автоматизации проектирования систем автоматики в части построения клеммников при использовании этих способов. Результаты этой оценки приведены в таблице.

Для анализа основных принципов формирования клеммников использовались примеры проектных документов различных проектных организаций:

- ОАО «ИвЭлектроНаладка» (г. Иваново);
- ОАО «Зарубежэнергопроект» (г. Иваново);
- ОАО «Гипровостокнефть» (г. Самара);
- ООО «Гипросинтез» (г. Волгоград);
- ООО «Оргсинтез» (г. Новомосковск, Тульская область);
- ООО «Системнефтеавтоматика» (г. Пермь).

Результаты данного анализа показали, что в большинстве случаев (90 %) при построении клеммников используются следующие дополнительные операции [2]:

- добавление резервных клемм (пустые клеммы для отделения на клеммнике сигналов, принадлежащих различным контурам измерения; в данном случае под *контуром измерения* понимается совокупность элементов и связей, с помощью которых передается, обрабатывается или принимается сигнал от одного первичного преобразователя);

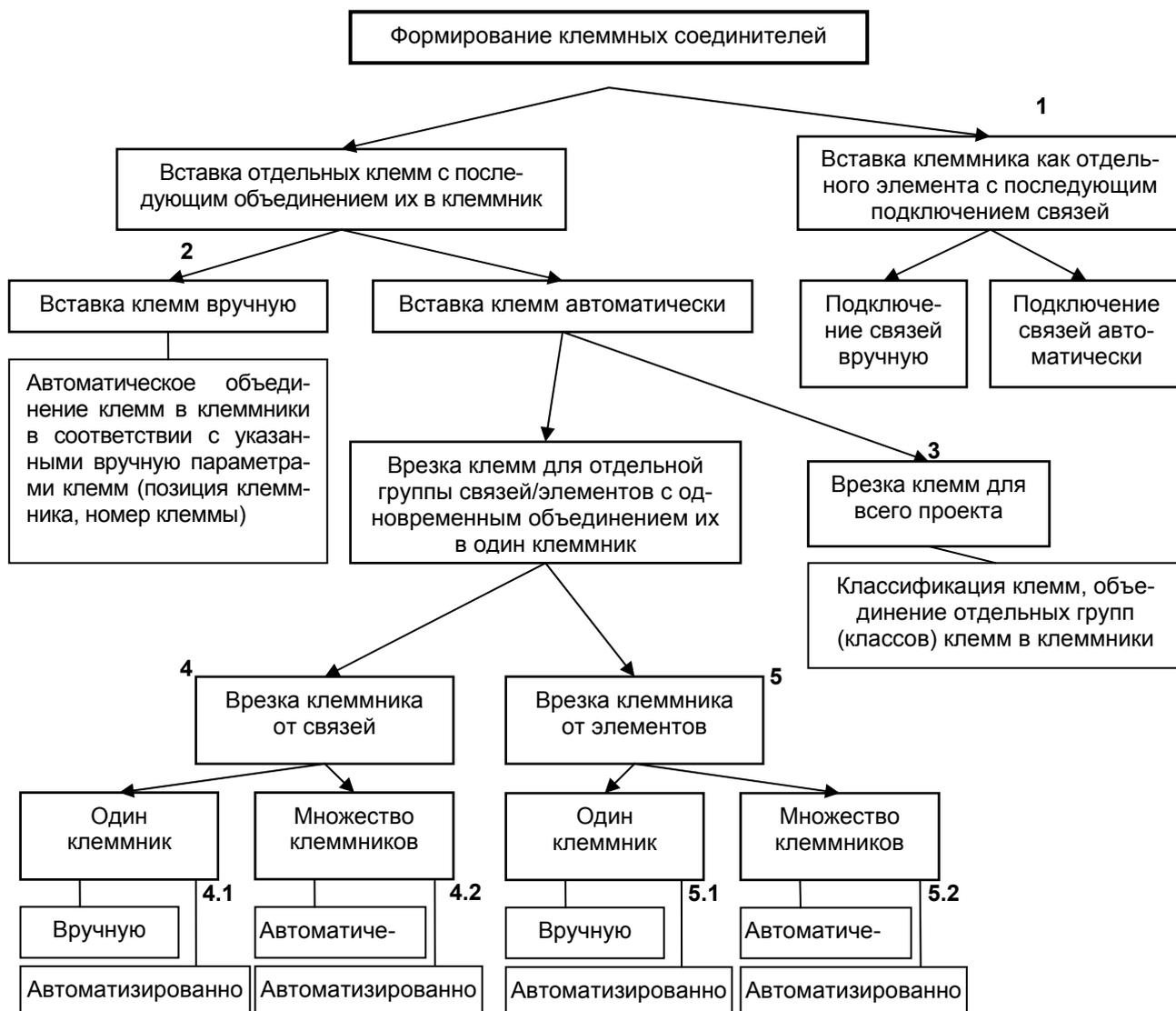


Рис. 1. Классификация способов формирования клеммных соединителей

• добавление клемм экранов кабелей (дополнительные клеммы для подключения экранов в случае, когда для передачи сигналов от клеммника используется экранированный кабель).

Выполнение этих операций не отражено ни в одном из рассмотренных способов. Таким образом, можно сделать следующий вывод: существующие способы формирования клеммных соединителей в электротехнических многокомпонентных системах, к которым относятся и системы контроля и управления, не позволяют добиться стопроцентной степени автоматизации или хотя бы приблизиться к ней.

#### Способы построения клеммных соединителей и степень автоматизации при их применении

Степень автоматизации, %	Способ (по рис. 1)	Примечания
10	2	Степень автоматизации минимальна, добавление и подключение клемм выполняется вручную. Применяется в следующих системах: AutoCAD Electrical, E-Plan, Promis-e, E3
40	1	Добавление клеммников и кабелей выполняется вручную. Однако имеется возможность подключения связей автоматически, если в проекте присутствуют связи между функциональными элементами. Применяется в следующих системах: САПР Альфа, Smart Plant Instrumentation, Plant4D E&I
50	4.1, 5.1	Добавление клеммника выполняется автоматически. Необходимо вручную задать правила классификации, сортировки или выполнить выборку связей/элементов. Применяется в САПР AutomatiCS
70	4.2, 5.2	Добавление множества клеммников выполняется автоматически. Необходимо вручную задать правила классификации, сортировки связей / элементов. Применяется в САПР AutomatiCS
80	3	Построение клеммников осуществляется в автоматическом режиме при наличии данных о компоновке элементов проекта. В настоящий момент способ нигде не применяется

**Разработка методов формирования клеммных соединителей в системах контроля и управления.** Нами разработаны методы формирования клеммных соединителей, которые позволяют повысить степень автоматизации и тем самым эффективность проектирования монтажной части систем контроля и управления в целом.

Из общего процесса проектирования клеммных соединителей можно выделить несколько отдельных задач:

- формирование соединительных коробок;
- формирование клеммников щитов без разводки токовой петли;
- формирование клеммников щитов с разводкой токовой петли.

**Терминология.** Ниже используются следующие термины: *Клемма*, *Клеммник*, *Элемент*,

*Связь*, *Функциональный элемент*, *Транзитный элемент*, *Сборка*, *Врезка клеммы*, *Токовая петля*, *Соединительная коробка*.

Под *Элементом* понимается любой элемент проектируемой системы автоматики. Примеры элементов: датчик, блок питания, модуль контроллера, клемма, клеммник, кабель, вторичный прибор и т.д.

*Функциональный элемент* – это *Элемент*, который способен производить, преобразовывать или каким-либо другим способом использовать передаваемый сигнал. Примеры функциональных элементов: датчик, блок питания, модуль контроллера.

*Транзитный элемент* – это *Элемент*, который необходим исключительно для обеспечения удобства передачи сигнала от одного функционального элемента к другому. При этом сам транзитный элемент не может использовать передаваемый сигнал. Примеры транзитных элементов: клеммник, кабель.

Принимается, что все элементы связаны между собой. Каждая *Связь* – потенциальный проводник, по которому передается определенный сигнал.

*Сборка* – это элемент, который представляет собой упорядоченное множество элементов и при этом обладает собственными свойствами [3]. Примеры элементов типа «сборка»: клеммник (сборка из клемм), кабель (сборка из жил).

*Клеммник* – *Транзитный элемент*, который либо является обычным элементом, либо представляет собой сборку из клемм.

Под *Клеммой* понимается *Транзитный элемент* с двумя контактами для подключения связей. В рамках проводимого анализа способов формирования клеммных соединителей не учитывались клеммы, в которых происходит изменение проходящего через них сигнала.

Под подключением по *Токовой петле* понимается такой вид электрического подключения, при котором один провод идет от источника сигнала (датчика) к источнику питания (блок питания), второй – от датчика к приемнику сигнала (модуль контроллера), третий – от источника питания до приемника сигнала (рис. 2):

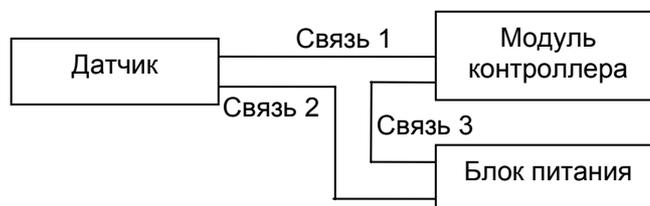


Рис. 2. Подключение по токовой петле

*Соединительная коробка* – это клеммник, расположенный в отдельном шкафу, который используется для оптимизации структуры кабельных связей.

*Врезка клеммы.* Пусть имеется два элемента  $E_1$ ,  $E_2$ . Связь  $S_1$  соединяет контакт

Контакт  $Конт.N_{E_1}$  элемента  $E_1$  и контакт  $Конт.M_{E_2}$  элемента  $E_2$  (рис. 3).

$P_{E_1}, P_{E_2}, P_{S_1}$  – множества параметров элементов  $E_1, E_2$  и связи  $S_1$  соответственно [4].

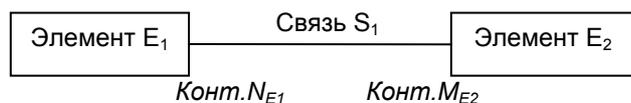


Рис. 3. Принципиальная связь

Алгоритм действия проектной операции (рис. 4):

- добавить элемент  $K$  типа «клемма»;
- отсоединить связь  $S_1$  от элемента  $E_2$  и подключить ее к первому контакту клеммы  $K$ ;
- провести связь  $S_2$  от второго контакта клеммы  $K$  к контакту  $Конт.M_{E_2}$  элемента  $E_2$ ;
- скопировать параметры  $P_{S_1}$  связи  $S_1$  и присвоить их связи  $S_2$ :  $P_{S_2} = P_{S_1}$ .

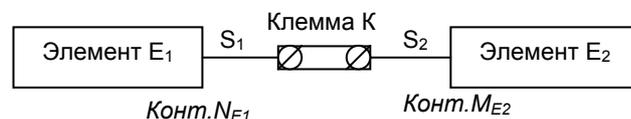


Рис. 4. Врезка клеммы

**Формирование соединительных коробок.** Предлагается усовершенствованный алгоритм реализации метода формирования соединительных коробок:

1. Для всех элементов проекта, сигналы от которых должны пройти через соединительную коробку, предварительно указываются параметры их пространственного расположения, принадлежности к монтажным и щитовым конструктивам и другие компоновочные характеристики, компоновки в рамках щитов, пультов и панелей: *Место, Имя Щита, Монтажная Единица*.

*Место* – это наименование или условное обозначение помещения, где располагается элемент. Возможные значения этого параметра:

- *по-месту* (непосредственно на технологическом оборудовании);
- *Стенд* (на отдельном стенде, расположенном в одном помещении с основным технологическим оборудованием);
- *БЩУ* (на блочном щите управления, в отдельном помещении).

*Имя Щита* – наименование или условное обозначение стенда, шкафа, щита.

*Монтажная Единица* – номер или обозначение монтажной единицы, который указывает на принадлежность элемента к группе, выполняющей одну задачу управления (этот параметр не является обязательным).

В общем случае количество параметров может быть больше (в данном случае указывается минимальный набор параметров, необходимый для корректного выполнения метода).

2. Из всего множества элементов  $E$  проекта выбираются элементы, сигналы от которых должны пройти через соединительную коробку.

Пусть в проекте имеется непустое множество всех элементов  $E$ :  $E = \bigcup_{i=1}^N E_i$  с принадлежащим каждому из них множеством всех принципиальных связей  $S_i$ :  $S_i = \{s_j^1, s_j^2, \dots, s_j^z\}$ .

Пусть  $P_{Name}$  – множество значений параметра, характеризующего тип элемента проекта (параметр *Тип Элемента*):

$$P_{Type} = (Type_1, Type_2, \dots, Type_N),$$

где  $Type_j$  – значение параметра *Тип Элемента* элемента  $E_j \in E, j = 1 \dots N$ .

Пусть  $P_{CK}$  – множество значений параметра *Тип Элемента*, содержащее имена элементов, сигналы от которых должны пройти через соединительную коробку. Множество  $P_{CK}$  не должно быть пустым:  $P_{CK} \neq \emptyset$

Например:  $P_{CK} = \{\text{Датчик}\}$ .

Выполняется классификация элементов множества  $E$ :

$$E \xrightarrow{\text{классификация}} E_A,$$

таким образом, чтобы для каждого элемента  $E_i \in E_A$  выполнялось условие  $Type_i \in P_{CK}$ .

Если после классификации подмножество  $E_A$  оказывается пустым:  $E_A = \emptyset$ , то процесс формирования соединительных коробок прерывается и выдается соответствующее сообщение.

3. Пусть  $C$  – результат компоновки элементов проекта. Тогда  $P_C$  – множество значений параметров, определяющих принадлежность каждого элемента к конкретному помещению (параметр *Место*), щиту (параметр *Имя Щита*) и монтажной единице (параметр *Монтажная Единица*):

$$P_C = (C_1, C_2, \dots, C_N),$$

где  $C_j = (L_j, M_j, R_j), j = 1 \dots N$ ;  $L_j$  – значение параметра *Имя Щита* элемента  $E_j$ ;  $M_j$  – значение параметра *Монтажная Единица* элемента  $E_j$ ;  $R_j$  – значение параметра *Место* элемента  $E_j$ .

В соответствии с правилом классификации выполняется выделение из множества  $E_A$  нескольких подмножеств:

$$E_A \xrightarrow{\text{классификация}} E_L = (E_L^1, E_L^2, \dots, E_L^J),$$

таким образом, чтобы для каждого класса  $E_L^j$  выполнялись условия:

$$Name_j \in P_{CK}, P_C^j \in P_C, P_C^j \neq \emptyset, \bigcup_{j=1}^J P_C^j = P_C,$$

$$P_C^i \cap P_C^j = \emptyset, i, j \in J.$$

При этом допускается, что значение параметра *Монтажная Единица* может отсутствовать:  $M_j = ''$ . В этом случае  $C_j = (L_j, R_j)$ .

4. Для каждого класса  $E_L^j$ , представляющего собой множество элементов проекта, выполняется процедура построения клеммника.

Пусть  $E_L^j = (E_1, E_2, \dots, E_N)$ , где  $N$  – число элементов в классе. Каждому элементу  $E_i \in E_L^j$ ,  $i = 1 \dots N$ , принадлежат связи  $S_i = \{s_i^1, s_i^2, \dots, s_i^z\}$ . Объединением множеств связей  $S_i$  всех элементов класса  $E_L^j$  является множество связей элементов класса:

$$S_L = \bigcup_{i=1}^N S_i, \quad S_L = \{s_L^1, s_L^2, \dots, s_L^k\} = \bigcup_{g=1}^k s_L^g.$$

В общем случае каждая  $g$ -я связь  $s_L^g \in S_L$  соединяет  $N$  элементов (рис. 5).

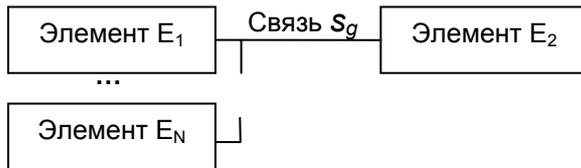


Рис. 5. Объединение нескольких элементов одной связью

Далее выполняется проверка количества элементов на каждой связи множества  $S_L$ :

- если хотя бы для одной связи  $s_L^g \in S_L$  выполняется условие  $N > 2$ , то операция врезки клеммника прерывается, выдается сообщение о наличии связи, соединяющей более двух элементов;

- если для всех связей  $s_L^g \in S_L$  выполняется условие  $N = 2$ , то процедура построения клеммника продолжается.

Пусть связь  $s_L^g$  соединяет элементы  $E_1^g$  и  $E_2^g$ . Тогда:

- если оба элемента принадлежат множеству  $E_L^j$  (выполняется условие  $E_1^g \in E_L^j, E_2^g \in E_L^j$ ), то связь  $s_L^g \in S_L^{Int}$ , где  $S_L^{Int}$  – подмножество *внутренних связей класса  $E_L^j$* ;

- если один из элементов не принадлежит множеству  $E_L^j$  (условие  $E_1^g \in E_L^j, E_2^g \notin E_L^j$  не выполняется), то связь  $s_L^g \in S_L^{Ext}$ , где  $S_L^{Ext}$  – подмножество *внешних связей класса  $E_L^j$* .

В дальнейшей процедуре построения клеммника участвуют только связи, принадлежащие подмножеству внешних связей класса  $E_L^j$ :  $s_L^g \in S_L^{Ext}$ .

Проведенный анализ процедур формирования клеммников в различных проектных организациях показал, что порядок клемм в клеммнике играет важное значение. Поэтому для полученного подмножества связей выполняется сортировка по принадлежности к одному контуру измерения (параметр *Контур*) и по значению уникальной маркировки связей (параметр *Марка*):

$$S_L^{Ext} \xrightarrow{\text{сортировка}} S_L^{Ext} = (s_L^1, s_L^2, \dots, s_L^k).$$

Указанное правило сортировки обеспечивает порядок расположения клемм, наиболее часто (в 90 % случаев) применяемый проектными организациями при формировании клеммных соединителей.

Пусть  $P_{S_L}^g$  – множество параметров связи  $s_L^g$ . И пусть имеется множество значений параметров, которые характеризуют связи, не участвующие в процедуре формирования клеммника:

$$P_M = \{P_M^1, P_M^2, \dots, P_M^y\}$$

Тогда для каждой связи  $s_L^g$  выполняется проверка следующего условия:

- если  $P_{S_L}^g \cap P_M \neq \emptyset$ , то связь  $s_L^g$  не участвует в процедуре построения клеммника;
- если  $P_{S_L}^g \cap P_M = \emptyset$ , то связь  $s_L^g$  разрывается элементом  $K_g$  типа «клемма», которому присваиваются очередной порядковый номер  $z$ , а также значения параметров *Контур* и *Марка* (наследуются у связи).

В результате в проект добавляется  $Z$  клемм. Выполняется сортировка клемм по порядковому номеру:  $K \xrightarrow{\text{сортировка}} (K_1, K_2, \dots, K_Z)$ .

После сортировки клеммы объединяются в клеммник  $E_K^j : E_K^j = (K_1, K_2, \dots, K_Z)$ .

5. Указанная процедура построения клеммника выполняется для каждого класса  $E_L^j$ . В результате в проекте появляется  $J$  клеммников:  $E_K = (E_K^1, E_K^2, \dots, E_K^j)$ .

6. Для каждого клеммника выполняется добавление резервных клемм.

Пусть имеется клеммник  $E_K = (K_1, K_2, \dots, K_Z)$ , представляющий собой упорядоченное множество клемм  $K_i, i = 1 \dots Z$ .

Пусть  $P_K$  – множество значений параметра *Контур* для всех  $K_i, i = 1 \dots Z$ . Тогда  $P_K^i$  – значение параметра *Контур* для  $i$ -й клеммы.

Выполняется классификация клемм по принадлежности к определенному контуру измерения (параметр *Контур*):

$$E_K \xrightarrow{\text{классификация}} K_L = (K_L^1, K_L^2, \dots, K_L^N),$$

таким образом, чтобы для каждого класса  $K_L^n, n = 1 \dots N$  выполнялось условие

$$P_K^n \in P_K, \quad \bigcup_{n=1}^N P_K^n = P_K, \quad P_K^n \cap P_K^m = \emptyset, \quad n, m \in N.$$

В общем случае каждый из классов  $K_L^n$  содержит  $x$  клемм:  $K_L^n = (k_1^n, k_2^n, \dots, k_x^n)$ . Каждому классу  $K_L^n$  добавляется дополнительная клемма  $K_{x+1}^n : K_L^n = (k_1^n, k_2^n, \dots, k_x^n, k_{x+1}^n)$ . Этой клемме присваивается очередной порядковый номер:  $Z + n$ . Таким образом, общее число клемм в клеммнике возрастает на величину, равную количеству классов  $N$ :  $E_K = (K_1, K_2, \dots, K_{Z+N})$ .

Для полученного упорядоченного множества  $E_K$  выполняется перенумерация клемм. Каждой клемме присваивается очередной порядковый номер:

$$E_K = (K_1, K_2, \dots, K_Z, K_{Z+1}, K_{Z+2}, \dots, K_{Z+N}).$$

7. Для каждого клеммника выполняется добавление клемм экранов кабелей.

Пусть в проекте имеется клеммник  $E_K = (K_1, K_2, \dots, K_Z)$ , представляющий собой упорядоченное множество клемм  $K_z, z = 1 \dots Z$ .

Каждой клемме  $K_z$  принадлежат связи  $S_z = \{s_z^1, s_z^2\}$ . Объединением множеств связей  $S_z$  всех клемм  $K_z$  является множество связей клеммника  $E_K: S_K \cup_{z=1}^Z S_z$ .

Среди всех элементов, подключенных к клеммнику, проверяется наличие элементов типа «кабель» (Тип Элемента = Кабель) и необходимость подключения клеммы экрана (Экранирование = Есть). Если такие элементы отсутствуют, то выполнение процедуры прерывается.

Элемент типа «кабель» является сборкой и представляет собой упорядоченное множество элементов типа «жила». Для каждого элемента типа «кабель», для которого указано значение

параметра Экранирование = Есть, выполняется проверка наличия жилы типа «экран» (Тип Жилы = Экран). Если такая жила отсутствует, она добавляется в конец кабеля.

Выполняется проверка всех связей, которые идут от кабеля к клеммнику. На клеммнике определяется последняя по порядку клемма, на которую приходит связь от кабеля. После нее добавляется свободная клемма и проводится связь (Тип Связи = Экран), которая соединяет клемму и жилу.

В результате выполнения указанных процедур и операций производится автоматическое формирование клеммника соединительной коробки, добавление резервных клемм и клемм экранов кабелей. В рамках приведенной классификации можно оценить степень автоматизации для данного метода как максимально приближенную к 100 %.

На рис. 6 представлен фрагмент документа «Подключение кабелей к рядам зажимов», на котором изображена схема подключения кабелей к соединительной коробке, полученной автоматически путем применения рассмотренного метода в САПР AutomatiCS.

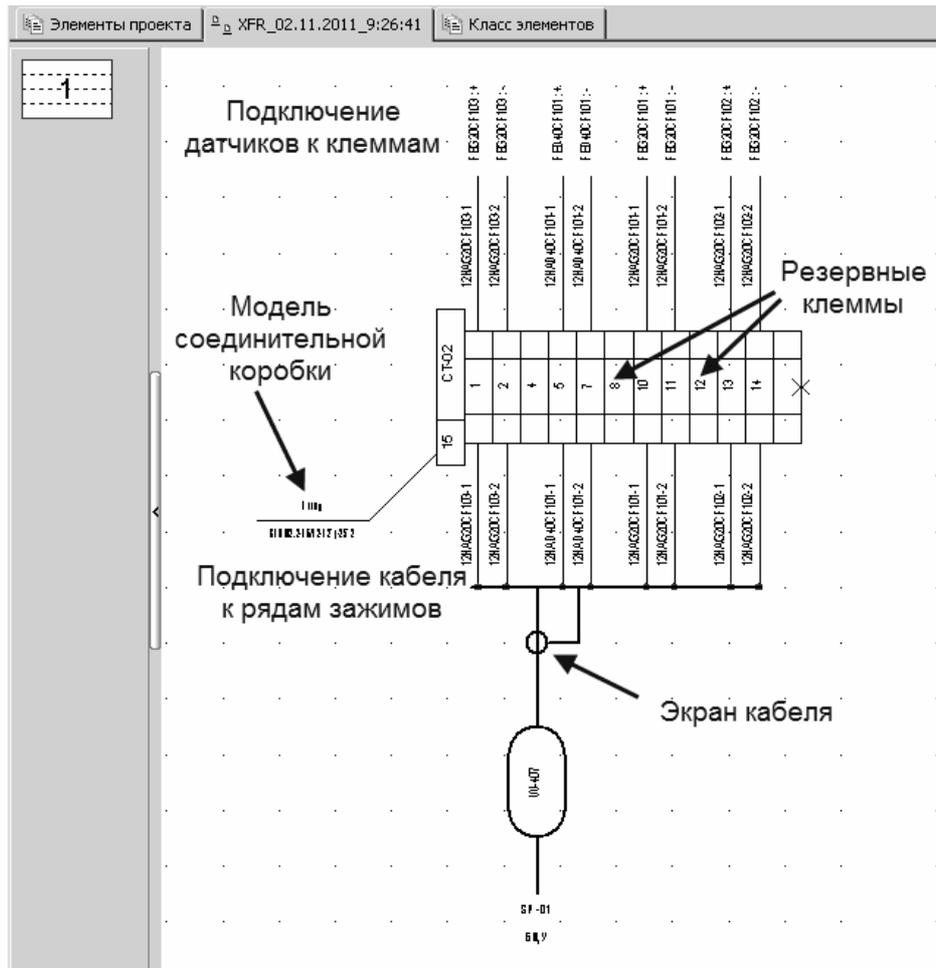


Рис. 6. Фрагмент документа «Подключение кабелей к рядам зажимов» (соединительная коробка)

**Формирование клеммников щитов.**

Для формирования клеммников щитов без разводки токовой петли используется тот же метод, что и для формирования соединительных коробок, для которого указывается иное множество  $P_{СК}$  значений параметра *Тип Элемента*. Например:  $P_{СК} = \{\text{Блок питания, Барьер искрозащиты, Модуль контроллера}\}$ .

Формирование клеммника щита с разводкой токовой петли реализуется в виде отдельного метода [5]. Предлагается алгоритм реализации этого метода:

1. Проверка наличия связей в проекте:

$$S = \bigcup_{i=1}^N s_i \neq \emptyset.$$

2. Выделение в отдельный класс связей, в которые необходимо врезать клеммник (связи с подключением по токовой петле).

Пусть  $P_S^i$  – множество параметров связи  $s_i$ . И пусть имеется множество значений параметров, которые характеризуют связи, подключенные по токовой петле:

$$P_M = \{P_M^1, P_M^2\},$$

где  $P_M^1 = \text{Токовая-цель}$  – характеристика схемы электрического подключения датчика (значение параметра *СхемаЭПД*);  $P_M^2 = \text{Нормированная}$  – характеристика типа «связи» (значение параметра *ТипСвязи*).

Из всего множества  $S$  путем классификации выделяется подмножество связей, подключенных по токовой петле:

$$S \xrightarrow{\text{классификация}} S_K = (s_1, s_2, \dots, s_z),$$

таким образом, чтобы для каждой связи  $s_i \in S_K$  выполнялось условие  $P_M \subset P_S^i$ .

3. Проверка количества элементов, подключенных к связи.

В общем случае каждая  $i$ -я связь  $s_i \in S_K$  соединяет  $N$  элементов (рис. 5).

Выполняется проверка количества элементов на каждой связи подмножества  $S_K$ :

- если хотя бы для одной связи  $s_i \in S_K$  выполняется условие  $N > 2$ , то операция врезки клеммника прерывается, выдается сообщение о наличии связи, соединяющей более двух элементов;

- если для всех связей  $s_i \in S_K$  выполняется условие  $N = 2$ , то процедура построения клеммника продолжается.

4. Классификация полученного множества связей по параметру *Контур*:

$$S_K \xrightarrow{\text{классификация}} S_K = (S_1, S_2, \dots, S_N),$$

где  $S_i = \{s_1, s_2, s_3\}$  – множество связей с одинаковым значением параметра *Контур* (связи, принадлежащие к одному измерительному каналу).

5. Дальнейшие действия выполняются для каждого из полученных классов.

5.1. В общем случае соединение типа «Токовая петля» для одного контура можно представить в виде схемы (рис. 7).

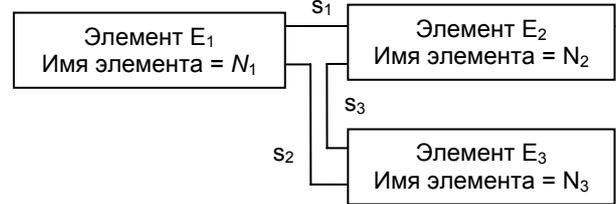


Рис. 7. Схема соединения типа «Токовая петля»

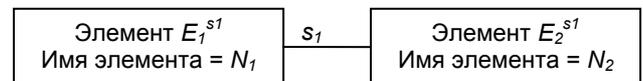
Элемент  $N_1$  – это датчик (если клеммники стенов/соединительных коробок еще не сформированы) или клеммник (если клеммники стенов/соединительных коробок уже сформированы).

Элемент  $N_2$  – внешний сигнал или модуль контроллера (если клеммники контроллера еще не сформированы) или клеммник (если клеммники контроллера уже сформированы).

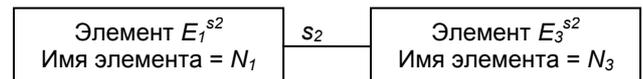
Элемент  $N_3$  – это блок питания.

Нумерация связей в контуре соответствует порядку их появления в проекте. Каждая связь соединяет два элемента, направление связи – от элемента  $E_1$  на первом контакте связи к элементу  $E_2$  на втором контакте связи:

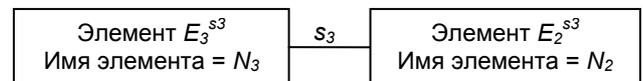
- связь  $s_1$  соединяет элементы  $N_1$  и  $N_2$  и идет от датчика до внешнего сигнала;



- связь  $s_2$  соединяет элементы  $N_1$  и  $N_3$  и идет от датчика до блока питания;



- связь  $s_3$  соединяет элементы  $N_2$  и  $N_3$  и идет от блока питания до внешнего сигнала;



5.2. Пусть связь  $s_j$  соединяет элементы  $E_1^{s_j}$  и  $E_2^{s_j}$ . Пусть  $Name_1^{s_j}$  – имя элемента  $E_1^{s_j}$ ,  $Name_2^{s_j}$  – имя элемента  $E_2^{s_j}$ .

Из класса  $S_j = \bigcup_{j=1}^3 s_j$  выделяются связи, подключенные к блоку питания:

$$s_j : N_3 \in \{Name_1^{s_j}, Name_2^{s_j}\}.$$

В данном случае это связи  $s_2$  и  $s_3$ .

Для каждой связи выполняется процедура врезки клеммы:

- если связь направлена к блоку питания, то клемма врезается без каких-либо изменений (рис. 8);

- если связь направлена от блока питания, то при врезке клеммы выполняется инверсия связей на контактах клеммы (рис. 9).

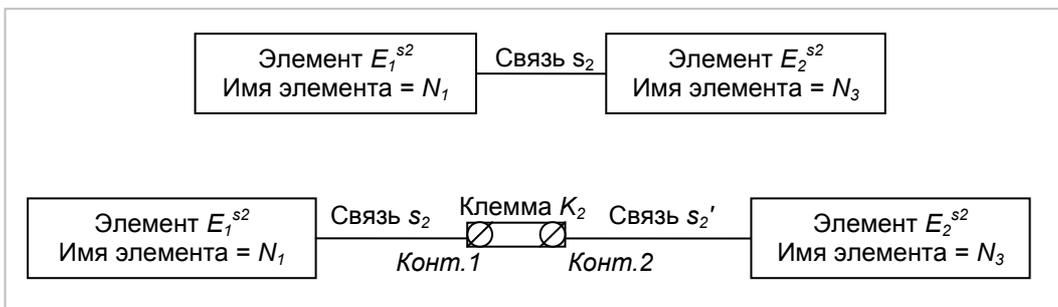


Рис. 8. Схема врезки клеммы в случае, когда связь направлена к блоку питания

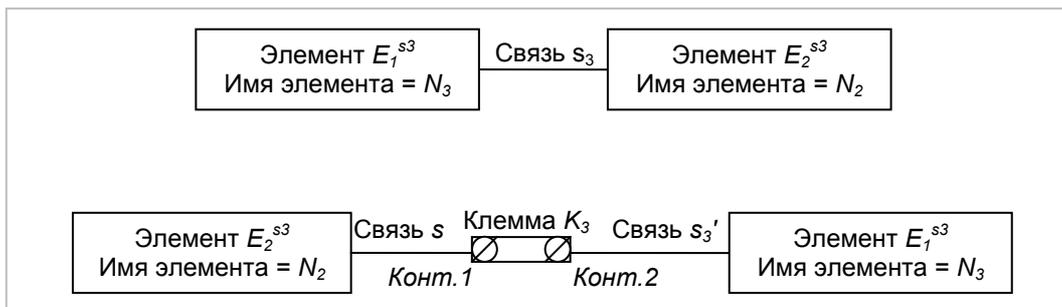


Рис. 9. Схема врезки клеммы в случае, когда связь направлена от блока питания

5.3. После выполнения врезки клемм в связи, соединенные с блоком питания, клеммы объединяются в клеммник  $E_K = \{K_2, K_3\}$ .

Инверсия связей на контактах клеммы (рис. 10) во втором случае необходима для того, чтобы приборная сторона клеммника была с одной стороны, а кабельная – с другой. В результате указанных действий блок питания (элемент  $N_3$ ) оказался подключен к клеммнику с приборной стороны.

5.4. Выполняется подключение транзитной связи одним из двух способов:

1) добавление одной дополнительной клеммы  $K_1$ . Подключение к первому контакту клеммы связи  $s_1$  от элемента  $N_1$ . Подключение к этому же контакту клеммы связи  $S_1$  от элемента  $N_2$  (рис. 11);

2) добавление двух дополнительных клемм  $K_{11}, K_{12}$ . Подключение к первому контакту клеммы  $K_{11}$  связи  $s_1$  от элемента  $N_1$ . Создание на другой стороне клеммника перемычки к клемме

$K_{12}$ . Подключение к первому контакту клеммы  $K_{12}$  связи  $s_1$  от элемента  $N_2$  (рис. 12).

5.5. Добавление резервной клеммы для отключения сигналов от различных контуров (рис. 13).

6. Выполнение действий, описанных в п.5, для каждого контура.

7. Объединение множества полученных клеммников  $E_K$  в один общий клеммник щита. Перенумерация клемм.

В результате выполнения указанных процедур и операций производится автоматическое формирование клеммника щита с разводкой токовой петли.

В рамках приведенной классификации можно оценить степень автоматизации для данного метода как максимально приближенную к 100 %.

На рис. 14 представлен пример клеммника щита, полученного путем применения рассмотренного метода в САПР AutomatiCS.



Рис. 10. Инверсия связей на контактах клеммы (стрелками показано направление связей)

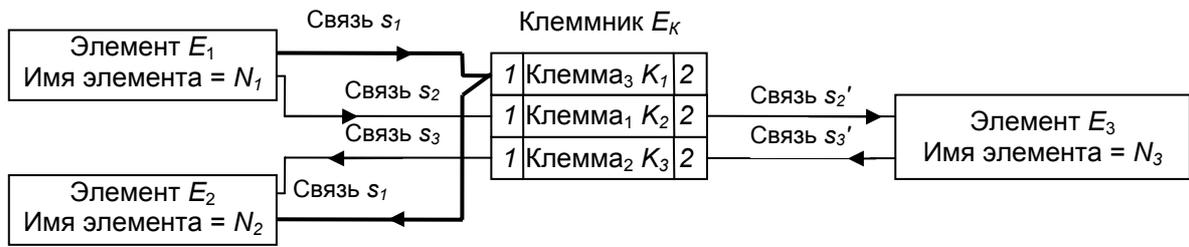


Рис. 11. Разводка токовой петли. Добавление одной клеммы



Рис. 12. Разводка токовой петли. Добавление двух клемм



Рис. 13. Добавление резервной клеммы

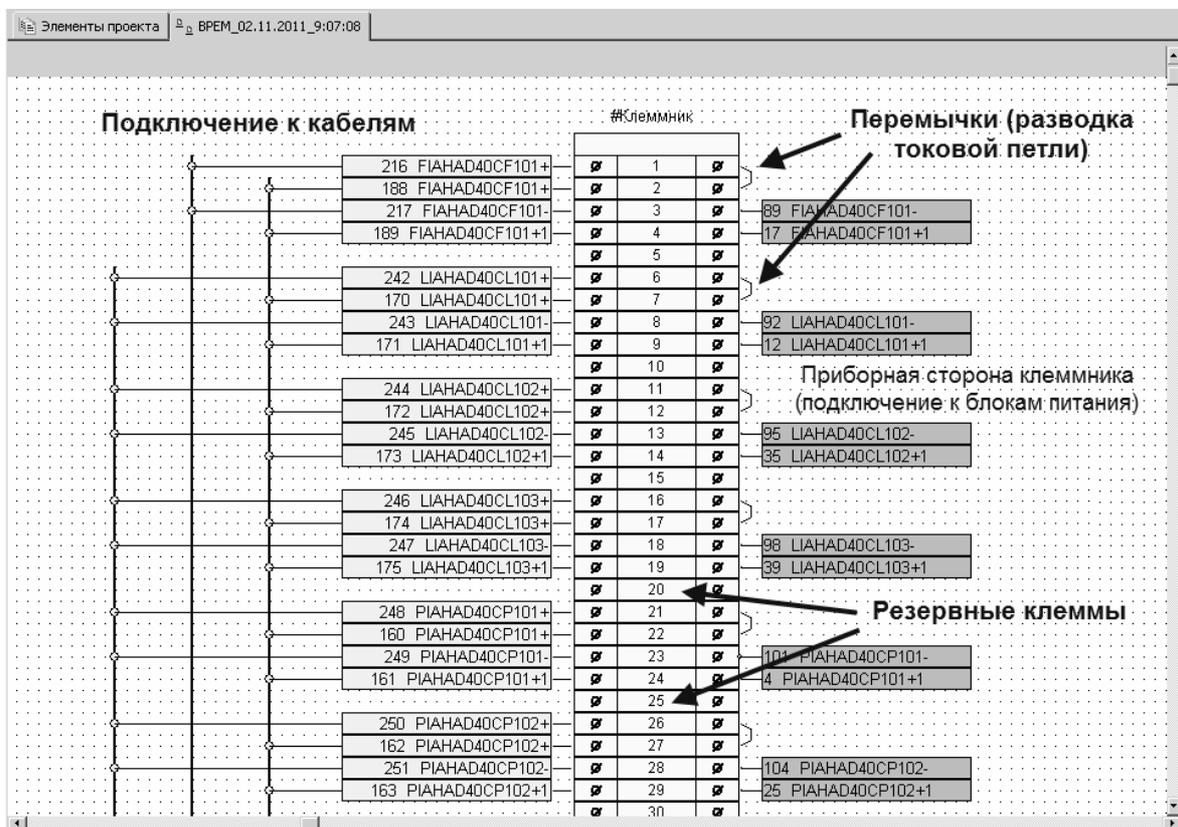


Рис. 14. Клеммник щита, разводка токовой петли (графическая страница AutomatiCS)

## Заключение

Предлагаемые методы формирования клеммных соединителей позволяют значительно повысить степень автоматизации при проектировании клеммных соединителей и оценить ее как максимально приближенную к 100 %. Гибкая система настройки приведенных алгоритмов при необходимости дает возможность их применения в условиях проектирования, отличных от рассмотренных. Достигаемая в результате применения разработанных методов эффективность проектирования гарантирует отсутствие случайных ошибок, снижение трудозатрат, сокращение сроков проектирования и повышение качества выпускаемой проектной документации. Отсутствие ошибок в проектной документации, в свою очередь, способствует увеличению степени надежности проектируемой системы и сокращению сроков наладки и ввода ее в эксплуатацию.

## Список литературы

1. **Технология** проектирования тепловых электростанций и методы ее компьютеризации / В.Н. Нуждин, А.В. Мошкарин, Е.С. Целищев и др. – М.: Энергоатомиздат, 1997. – 234 с.
2. **Целищев Е.С., Глязнецова А.В.** AutomatiCS 2011 – разрабатывать КИПиА просто и эффективно. Ч. 1: Это действительно САПР // САПР и графика. – 2012. – № 4. – С. 76–81.

*Глязнецова Анна Вячеславовна*,  
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
аспирант, отдел САПР в энергетике  
e-mail: glyaznetsova@mail.ru,

*Целищев Евгений Сергеевич*,  
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
доктор технических наук, отдел САПР в энергетике,  
e-mail: etselishev@rambler.ru

3. **Верецагин Н.К., Шень А.** Лекции по математической логике и теории алгоритмов. Ч. 1. Начала теории множеств. – М.: МЦНМО, 1999. – 128 с.

4. **Целищев Е. С., Глязнецова А.В., Кудряшов И.С.** Методика эффективной автоматизации проектирования технического обеспечения АСУТП: учеб. пособие / под ред. Ю.С. Тверского; Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2012. – 192 с.

5. **Целищев Е.С., Глязнецова А.В.** AutomatiCS 2011 – разрабатывать КИПиА просто и эффективно. Ч. 2: Проектирование и документирование клеммников и кабелей // САПР и графика. – 2012. – № 6. – С.18–21.

## References

1. Nuzhdin, V.N., Moshkarin, A.V., Tselishchev, E.S. *Tekhnologiya proektirovaniya teplovykh elektrostantsiy i metody ee komp'yuterizatsii* [Thermal power station design technology and methods for its computerization]. Moscow, Energoatomizdat, 1977. 234 p.
2. Tselishchev, E.S., Glyaznetsova, A.V. *SAPR i grafika*, 2012, issue 4, pp. 76–81.
3. Vereshchagin, N.K., Shen', A. *Lektsii po matematicheskoy logike i teorii algoritmov. Chast' 1: Nachala teorii mnozhestv* [Lectures on logic theory and theory of algorithms. Part 1: Laws of set theory]. Moscow, MCNMO, 1999. 128 p.
4. Tselishchev, E.S., Glyaznetsova, A.V., Kudryashov, I.S. *Metodika effektivnoy avtomatizatsii proektirovaniya tekhnicheskogo obespecheniya ASUTP* [Methods of the effective industrial control hardware design automation]. Ivanovo, 2012. 192 p.
5. Tselishchev, E.S., Glyaznetsova, A.V. *SAPR i grafika*, 2012, issue 6, pp. 18–21.