Дмитриев А.А.
Dmitriev A.A.

кандидат технических наук,
доцент кафедры
«Автомобильного транспорта,
строительных и дорожных машин»,
ФГБОУ ВО «Тюменский
индустриальный университет»,
г. Тюмень
Российская Федерация

Герасимов В.Е.
Gerasimov V.E.
аспирант кафедры
«Электроэнергетика»
ФГБОУ ВО «Тюменский
индустриальный университет»,
г. Тюмень
Российская Федерация

Плосков А.Н.
Ploskov A.N.
инженер-проектировщик
I категории,
электротехнический отдел,
АО «НИПИГАЗ»,
г. Тюмень
Российская Федерация

УДК 621.311.1

DOI:

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ В ПРОЦЕССЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В данной статье описан вариант использования программного обеспечения для оптимизации рабочего процесса инженера-проектировщика систем электроснабжения, позволяющий сократить трудозатраты на разработку рабочей документации, снизить количество ошибок. Максимальный эффект при использовании данного подхода к проектированию заметен при корректировках ранее разработанной документации и связан с изменениями исходных данных. Наиболее экономичным считается подход, при котором обработка данных и получение максимального количества выходных документов, включающихся в состав разрабатываемой рабочей документации, формируется в одном программном комплексе, исключая промежуточную передачу данных из одного расчетного модуля в другой посредством инженера-проектировщика. В статье приведены уже используемые в работе возможности программного обеспечения, такие как составление принципиальной электрической схемы с указанием всех электроприемников, входящих в проектируемый электротехнический комплекс, трассировка кабельных линий на плане, на которых по ключевым точкам происходит привязка и автотрассировка линий. Автоматическое формирование выходных таблиц внешних соединений, кабельных журналов, спецификаций оборудования сокращает время на разработку инженером-проектировщиком, а также на проверку его руководителем данных документов – достаточно проверить правильность составления исходной схемы и плана. Не возникает сложностей с прохождением нормоконтроля, т.к. все документы сформированы автоматическим способом по заранее предустановленному и согласованному шаблону. Данные инструменты позволяют существенно снизить временные затраты на создание электротехнической части проекта, еще больший потенциал скрыт в экономии времени на проведение различных корректировок проектной документации (вследствие изменения исход-

ных данных от заказчика проекта, технологической части объекта и смежных разделов проекта), объем которых заранее не представляется известным. Кроме того, в данной статье обозначены направления по расширению существующего функционала (расчет тепловыделений от оборудования, пиковых пусковых токов, выбор резервных источников питания и т.д.).

Ключевые слова: проектирование, электроснабжение, чертежи, схемы, спецификации, Eplan.

APPLICATION OF MODERN SOFTWARE CAPABILITIES IN THE DESIGN OF POWER SUPPLY SYSTEMS

This article describes the use of software to optimize the workflow of an engineer-designer of power supply systems, which allows to reduce labor costs for the development of working documentation, reduce the number of errors. The maximum effect when using this approach to design is noticeable when adjusting the previously developed documentation associated with changes in the original data. The most economical approach is considered, in which data processing and obtaining the maximum number of output documents, included in the developed working documentation, is formed in one software package, excluding intermediate data transfer from one calculation module to another by the design engineer. In the article already used in the software features, such as making an electrical circuit showing all electrical equipment included in the electrical design of the complex tracing of cable lines on the plan, which at key points is reference and the autotrace lines. Automatic creation of output tables, external connections, cable journals, specifications of the equipment reduces the time to design engineer and checking his head of these documents is sufficient to verify the correctness of the original scheme and plan. There are no difficulties with the passage of regulatory control, because all documents are generated automatically by a pre-defined and agreed template. These tools can significantly reduce the time spent on the creation of the electrical part of the project, even more potential is hidden in saving time for various adjustments to the project documentation (due to changes in the source data from The customer of the project, the technological part of the object and related sections of the project), the amount of which is not known in advance. In addition, this article identifies areas to expand the existing functionality (calculation of heat dissipation from the equipment, peak starting currents, the choice of backup power sources, etc.).

Key word: design, power supply, drawings, diagrams, specifications, Eplan.

Процесс проектирования, за исключением предпроектного исследования, сбора исходных данных, выработки и принятия технического подхода, решения, большей частью представляет собой рутинный труд инженеров-проектировщиков, заключающийся в разработке электрических схем, планов электроснабжения оборудования, планов прокладки кабелей, опросных листов, различных ведомостей и спецификаций. Для облегчения процесса проектирования, снижения затрат на разработку проектной документации применяются различные расчетные и графические программы. Эффект от применения средств автоматизации значительный, но зачастую выходные данные из одной программы/расчетного модуля являются одно-

временно входными данными для другой программы, что при изменении внешних условий приводит к необходимости повторения тех же расчетных операций, что проводились изначально: выгрузка данных (например, план или схема), занесение в другую программу с адаптацией всего чертежа под новый необходимый формат и так далее. Идеальным решением была бы программа, которая автоматически внутри себя могла бы строить схемы, проводить в них электротехнические расчеты кабелей, коммутационной аппаратуры, производить подбор необходимого оборудования, выдавать для него спецификацию и карту заказа, прорисовывать планы прокладки кабелей, считывать с них всю необходимую информацию и проводить

необходимые расчеты. Таким образом, при изменении исходных данных (количество, расположение и мощность электроприемников, условия их прокладки, требования к надежности электроснабжения) в одной программе проводились бы все необходимые перерасчеты, что позволило бы максимально сократить механический труд, повысить производительность труда, снизить количество ошибок.

В части автоматизации схемных электротехнических решений объекта предлагается использование программного комплекса Eplan, представляющего собой программное решение для проектирования, составления документации и управления электротехническими проектами. Структура возможностей данной программы приведена на рисунке 1.

Рисунок 1. Возможности программы Eplan

Первичным при разработке электротехнического раздела проекта является составление принципиальной электрической схемы, на которой отображаются все подключаемые электроприемники, производится распределение нагрузок по щитам, трансформаторным подстанциям, распределительным пунктам и т.д. (рис. 2).

Далее выполняется трассировка кабелей на плане прокладки с привязкой к графическому редактору. Для чертежей в 2D используется программа AutoCad, для выполнения модели в 3D используется программа AVEVA. За счет того, что каждая кабельная линия имеет свое уникальное название, данной линии на плане можно задать ключевые точки (прямые участки, углы, спуски, повороты), к которым эта линия всегда будет иметь привязку. При изменении трассы про-

кладки кабельной линии ввиду изменения внешних условий (необходимость обхода какого-то предмета, изменения расстояния до параллельно прокладываемых коммуникаций) в графическом редакторе проектировщику необходимо изменить только саму трассу, все привязки проложенных по ней кабельных линий изменятся автоматически. При этом формируются обновленные отчетные данные, такие как кабельный журнал (рис. 3), ведомость внешних проводок, спецификация оборудования.

Рисунок 2. Принципиальная электрическая схема

Обозначение кабеля, провода	Трасса		Участок трассы кабеля, провода	Кабель, провод					
	Начало	Конец		по проекту			проложен		
				Марка	Кол.число и сечение жил	Длина, м	Марка	Кол.число и сечение жил	Длина, м
1M1.1	ГРЩ1 секция 1	КЗУ	в хранилище	ВВГнг	5х50	15			
1M1.2	ГРЩ1 секция 1	1ЩДР0 сек1	в хранилище	ВВГнг + ПВ3	2х[4х120 + 1х70]	15			
1M1.3	ГРЩ1 секция 1	1ЩДР0	в хранилище	ВВГнг	5х25	63			
1M1.4.1	ГРЩ1 секция 1	1ЩДР01	в хранилище	ВВГнг	5х10	55			
1M1.4.2	ГРЩ1 секция 1	1ЩДР02	в хранилище	ВВГнг	5х10	65			
1M1.6	ГРЩ1 секция 1	1ЩДР03	в хранилище	ВВГнг	5х6	55			
1M1.7	ГРЩ1 секция 1	1ЩДР3	в хранилище	ВВГнг	5х4	55			
1M1.8	ГРЩ1 секция 1	1ЩДС1	в хранилище	ВВГнг	5х10	62			
2M1.11	ГРЩ1 секция 1	2ЩД04	в хранилище	ВВГнг	5х4	45			
1M1.10	ГРЩ1 секция 1	1ЩДВД	в хранилище	ВВГнг	5х4	43			
1M1.11	ГРЩ1 секция 1	1ЩДР04	в хранилище	ВВГнг	5х25	52			
1M2.1	ГРЩ1 секция 2	КЗУ	в хранилище	ВВГнг	5х50	15			
1M2.2	ГРЩ1 секция 2	1ЩДР0 сек2	в хранилище	ВВГнг	2х[4х120 + 1х70]	15			
1M2.3	ГРЩ1 секция 2	1ЩДР1	в хранилище	ВВГнг	5х25	53			
1M2.4.1	ГРЩ1 секция 2	1ЩД01	в хранилище	ВВГнг	5х4	55			
1M2.4.2	ГРЩ1 секция 2	1ЩД03	в хранилище	ВВГнг	5х4	52			
1M2.6	ГРЩ1 секция 2	1ЩДР2	в хранилище	ВВГнг	5х25	46			
1M2.7	ГРЩ1 секция 2	1ЩД05	в хранилище	ВВГнг	5х4	48			
1M2.8	ГРЩ1 секция 2	1ЩДВК	в хранилище	ВВГнг	5х70	72			
1M2.10	ГРЩ1 секция 2	1ЩДВД	в хранилище	ВВГнг	5х4	48			
1M2.11	ГРЩ1 секция 2	1ЩДН0	в хранилище	ВВГнг	5х4	15			
2M1.1	ГРЩ2 секция 1	КЗУ	в хранилище	ВВГнг	5х35	15			
2M1.2	ГРЩ2 секция 1	2ЩДР8	в хранилище	ВВГнг	5х25	89			
2M1.3	ГРЩ2 секция 1	2ЩДР1	в хранилище	ВВГнг	5х35	75			
2M1.4.1	ГРЩ2 секция 1	2ЩДР01	в хранилище	ВВГнг	5х6	32			
2M1.4.2	ГРЩ2 секция 1	2ЩДР02	в хранилище	ВВГнг	5х6	45			
2M1.6	ГРЩ2 секция 1	2ЩДС1	в хранилище	ВВГнг	5х16	70			
2M1.7	ГРЩ2 секция 1	2ЩД1	в хранилище	ВВГнг	5х6	80			
2M1.8	ГРЩ2 секция 1	2ЩДР2	в хранилище	ВВГнг	5х25	40			
2M1.9	ГРЩ2 секция 1	2ЩДН1	в хранилище	ВВГнг	5х16	15			
2M1.10	ГРЩ2 секция 1	2ЩДН0	в хранилище	ВВГнг	5х4	15			
2M2.1	ГРЩ2 секция 2	КЗУ	в хранилище	ВВГнг	5х35	15			

Рисунок 3. Кабельный журнал

Использование шаблонов выходных исходных данных позволяет сократить время на оформление результатов, все формируется в формате, пригодном для выпуска документации в печать. При этом происходит автоматическое заполнение основной надписи чер-

тежей, формирование обложки и титульного листа, формирование листа общих данных.

Расчетный модуль Eplan позволяет выполнять для сетей напряжением до 1 кВ:

- расчеты электрических нагрузок с использованием методик института

«Тяжпромэлектропроект», института «Теплоэлектропроект», по коэффициенту спроса, по коэффициенту одновременности и коэффициенту загрузок, по методу токов мгновенного среза;

- расчет токов во всех фазах и в нулевом проводе четырехпроводной сети по заданным нагрузкам;

- расчет фазных и линейных напряжений в каждой точке сети, а также определение наибольших отклонений напряжения в установившемся режиме;

- расчет потоков мощности и потерь мощности во всех элементах сети в установившемся режиме работы;

- расчет пиковых (пусковых) токов, напряжений в каждой точке при протекании пиковых токов;

- определение для каждого элемента сети (переменного и постоянного тока) максимальных значений токов в начальный момент времени при трехфазном и однофазном

коротком замыкании (КЗ) и наибольшего значения ударного тока КЗ, с учетом подпитки от синхронных и асинхронных двигателей с учетом и параметров установившегося режима, предшествующего КЗ;

- определение для каждого элемента сети минимальных токов при однофазном, двухфазном и трехфазном КЗ с учетом сопротивления дуги и с учетом нагревания токоведущих частей рабочим током и током КЗ (учет теплового спада);

- проверку селективности срабатывания защитных аппаратов с зависимой или независимой от тока характеристикой времени срабатывания, а также построение карт селективности;

- автоматизированный выбор уставок автоматов и номинальных токов плавких вставок предохранителей.

Пример результатов расчета приведен на рисунке 4.

Таблица подсчета электрических нагрузок (форма Ф636-92)

N, п.п	Исходные данные						Расчетные величины			Эффективное число ЭП $N_{\Sigma}=P_n^2 / \sum P_n^2$	Коэффициент расчетной нагрузки, K_p	Расчетная мощность			Расчетный ток, А $I = S_p \cdot \sqrt{3} \cdot U_n$
	По заданию технологов				По справочным данным		$K_u \cdot P_n$	$K_u \cdot P_n \cdot \cos \phi$	P_n^2			$P_p = K_p \cdot K_u \cdot P_n$	расчетная квар $Q_p = K_p \cdot K_u \cdot P_n \cdot \tan \phi$	полная $S_p = \sqrt{(P_p^2 + Q_p^2)}$ кВА	
	Наименование характерных категорий ЭП, подключаемых к узлу питания	Кол- во ЭП, шт. п	Номинальная (установленная) мощность, кВт		Коэф. исполь- зования, K_n	Коэф. реактив- ной мощнос- ти $\cos \phi / \tan \phi$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Группа I: Технологическая площадка.														
1.1	Бортовой насос заправщика	1	22,0	22,0	0,8	0,8/0,75	17,6	13,2	484			18,6	13,9	23,2	35,3
1.2	Электроподогреватель ЕНТ60	1	2,0	2,0	0,7	1/0	1,4	0	4,0			1,5	0	1,5	2,2
1.3	Рабочее освещение	1	0,42	0,42	0,85	0,85/0,62	0,357	0,221	0,2			0,377	0,23	0,444	0,7
1.4	Электроинструмент	1	2,0	2,0	0,3	0,7/1,02	0,6	0,612	4,0			0,634	0,6	0,905	2,4
1.5	Дистанционный телеметрический блок	1	0,1	0,1	0,25	1/0	0,025	0	0,01			0,026	0	0,026	0,1
	По группе	5	-	26,52	0,75	0,83/0,67	20,0	14,0	492	1	1,056	22,0	14,8	26,5	40,3

Рисунок 4. Результаты расчета электрических нагрузок

Преимуществом данного программного продукта являются:

- гибкость в настройках;
- возможность интеграции с другими программами;
- минимизация ошибок и сокращение сроков проектирования за счет единообразия оформления чертежей, автоматизированного формирования сводной документации (перечни, спецификации).

Открытость программы для внесения изменений позволяет адаптировать ее под конкретные выполняемые задачи. В перспективе необходима ее доработка и внедрение возможности использования следующего функционала:

- расчет величины тепловыделений в электрооборудовании в заданных помещениях для подготовки и выдачи задания на проекти-

рование систем отопления, вентиляции и кондиционирования;

- расчет времени протекания пиковых (пусковых) токов во всех элементах сети, оценка наибольших отклонений напряжений от номинальных значений при протекании пиковых токов;

- оценка времени работы аккумуляторной батареи;

- определение для каждой точки короткого замыкания времени его отключения основными и резервными защитами по заданным характеристикам срабатывания защитных аппаратов;

- оценка температуры жил проводов и кабелей при рабочих токах и на моменты отключения токов КЗ основными и резервными защитами для проверки кабелей на термическую стойкость и невозгорание;

- автоматический выбор из встроенной базы данных сечений проводов и кабелей, коммутационных и защитных аппаратов;

- автоматизированный выбор аккумуляторной батареи.

Использование Eplan для выполнения схем электроснабжения позволяет значительно снизить количество трудозатрат на проектирование, сократить количество ошибок в проектной документации. По опыту проектирования снижение затрат времени на разработки отдельных документов в Eplan по сравнению с выполнением их при помощи AutoCAD составляет экспертно:

- для схемы электроснабжения – 20 %;
- для расчета токов короткого замыкания (в сетях до 1 кВ) – 40 %;
- для кабельного журнала – 90 %;
- для разработки спецификации оборудования, изделий и материалов – 40 %.

При реализации в программе всего требуемого для проектировщика функционала эти показатели, скорее всего, будут увеличены.

Список литературы

1. Гишель Б. EPLAN Electric P8. Практическое руководство пользователя. Перевод и адаптация под русскую версию EPLAN Electric P8. – 2009. – 502 с.
2. EPLAN Electric P8. Руководство для начинающих. 2014. 164 с.
3. Климов Д.А. Платформа EPLAN – революция в программном обеспечении для автоматизированного проектирования // Автоматизация проектирования. – 2008. - № 3. – С. 57-60.
4. ГОСТ 2.702-2011 «Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Правила выполнения электрических схем».
5. ГОСТ 21128-83 «Системы электроснабжения, сети, источники, преобразователи и приёмники электрической энергии. Номинальные напряжения до 1000 В».

References

1. Gishel' B. EPLAN Electric P8. Prakticheskoe rukovodstvo pol'zovatelja. Perevod i adaptacija pod russkuju versiju EPLAN Electric P8. – 2009. – 502 p.
2. EPLAN Electric P8. Rukovodstvo dlja nachinajushhih. – 2014. – 164 p.
3. KlimovD.A. Platforma EPLAN – revoljucija v programmnom obespechenii dlja avtomatizirovannogo proektirovanija // Avtomatizacija proektirovanija. – 2008. - № 3. – P. 57-60.
4. GOST 2.702-2011 «Jedinaja sistema konstruktorskoj dokumentacii (ESKD). Pravila vypolnenija elektricheskikh shem».
5. GOST 21128-83 «Sistemy jelektrosnabzhenija, seti, istochniki, preobrazovateli i prijomniki elektricheskoj energii. Nominal'nye naprjazhenija do 1000 V».