

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики  
(наименование института полностью)

---

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»  
(наименование)

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника  
(код и наименование направления подготовки)

---

Режимы работы электрических источников питания, подстанций, сетей и систем  
(направленность (профиль))

---

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Влияние системы БАРВ на функционирование системы электроснабжения ООО  
«Тольяттикаучук»

Обучающийся

Н.С. Быков

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный  
руководитель

к.т.н., О.В. Самолина

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2022

## Содержание

Введение.....	3
1 Анализ системы электроснабжения ООО «Тольяттикаучук».....	6
1.1 Характеристика объекта.....	6
1.2 Расчет электрических нагрузок.....	8
1.3 Особенности потребителей.....	26
2 Анализ режимов работы сети ООО «Тольяттикаучук».....	30
2.1 Структура построения электрической сети предприятия.....	33
2.2 Оценка эффективности работы электрической сети с двигательной нагрузкой.....	39
2.3 Выявление проблем электрической сети с двигательной нагрузкой ..	44
2.4 Сравнение режимов работы энергосети предприятия с учётом внедрения АВР и без.....	48
3 Стратегия трансформации системы электроснабжения ООО «Тольяттикаучук» .....	58
3.1 Критерии внедрения БАВР в сеть с двигательной нагрузкой.....	61
3.2 Перспективы развития сети предприятия .....	66
3.3 Достигаемые внедрением БАВР результаты .....	67
Заключение .....	73
Список используемых источников.....	75

## Введение

«Значение электроэнергетики в наше время трудно переоценить – она является одной из ведущих отраслей России и мира. Именно электроэнергетика сейчас определяет технологическое развитие человечества и затрагивает важнейшие сферы жизнедеятельности: промышленность, здравоохранение, быт» [6] и т.д.

Согласно направленности образовательной программы, а также на основании области научных интересов была выбрана тема магистерской диссертации: «Анализ режимов работы электрической сети предприятия «Тольяттикаучук» с учетом внедрения БАВР в систему с двигательной нагрузкой», расположенном в г. Тольятти.

Настоящая магистерская диссертация основана на выявлении сравнительных характеристик энергосетей с двигательной нагрузкой и возможностей улучшения их режимов работы, что крайне актуально для предприятий с непрерывным циклом производства.

Актуальность работы обусловлена необходимостью предприятия в повышении эффективности работы производственных энергосетей и обеспечении непрерывности работы сетей питания.

Падение напряжения или полное прекращение подачи электроэнергии в настоящее время считается одной из самых значительных и критических проблем качественного электроснабжения. Такие сбои могут привести к длительному простоям оборудования или полному выходу из строя. Причиной возникновения таких событий, а также коротких замыканий в электрических сетях зачастую становится высокий износ установленного электрооборудования.

На предприятиях химической и нефтегазовой отраслей такие проблемы имеют место быть. Более того, отечественный опыт не предоставляет возможным использовать достоверные статистические сведения по

характеристикам отклонений напряжения и иных угроз устойчивого функционирования энергосистемы.

Ситуация с данными отраслями промышленности усугубляется сложностью технологического процесса, требующего строгой и непрерывной подачи электрической энергии в заданном объеме и необходимого качества.

Уже в настоящее время предприятия начинают проходить энергетические обследования, показывающие полную картину эффективности работы электросети и её слабые места, потенциально рассматриваемые как возможные источники аварийности и возможности устраняемые и выводимые в ремонт. Однако, процесс выполнения энергоаудита довольно затратный, ресурсоемкий и, что самое примечательное, длительный и решения проблемы непрерывного электроснабжения стоит остро и не терпит промедления в связи с возможным существенным экономическим ущербом для предприятия, а также риском для рабочего персонала на опасных производствах.

Применения классических методов автоматического включения резерва (АВР) в данном случае может оказаться недостаточно. Характер работы данных устройств определяется выдержкой по времени, контролирующей срабатывание пускового органа и исключающей излишние действия при коротких замыканиях в смежных сетях и питающих линиях.

В данной работе рассматривается применение более эффективных с точки зрения времени срабатывания устройств быстродействующего автоматического ввода резерва. С их помощью переключение на альтернативный источник питания осуществляется практически мгновенно.

Уникальность вышеописанного устройства заключается в автономном функционировании, позволяющем обходиться без подтверждения со стороны системы релейной защиты и автоматики частей энергосистемы, алгоритмы которых также построены на задержках по времени.

Применение данных устройств особенно актуально для рассматриваемого предприятия, так как основным потребителем

электрической энергии является двигательная нагрузка, приводящая в действие все агрегаты шести действующих производств.

Целью работы является уменьшение времени простоя электрооборудования системы электроснабжения ООО «Тольяттикаучук».

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

- провести исследование характеристик действующей системы электроснабжения ООО «Тольяттикаучук»;
- выполнить анализ режимов работы сети ООО «Тольяттикаучук»;
- разработать стратегию трансформации системы электроснабжения ООО «Тольяттикаучук» с применением устройств БАВР.

Данный алгоритм позволит выявить особенности конкретной системы электроснабжения и установить возможные проблемы, провоцирующие нарушения работы сети. После чего, необходимо обеспечить требуемые критерии для внедрения «устройств, позволяющих ускорить процесс включения резерва при выходе из строя основного» [6] источника питания. В завершении, проводится оценка эффективности внедрения новых устройств.

# 1 Анализ системы электроснабжения ООО «Тольяттикаучук»

## 1.1 Характеристика объекта

Объектом исследования выбран ООО «Тольяттикаучук», а именно его энергетическая сеть. Тольяттикаучук – крупнейшая интегрированная нефтегазохимическая компания России и одна из наиболее динамично развивающихся компаний глобальной нефтегазохимии, с 2019 года входит в Группу компаний ПАО «Татнефть». С июня 2016 года по ноябрь 2019 года называлось ООО «СИБУР Тольятти». Сейчас предприятие переименовано и вновь называется «Тольяттикаучук». Звучит аутентично.

«Мы покупаем и перерабатываем углеводороды в пластики, каучуки и другие продукты с высокой добавленной стоимостью, предлагая актуальные технологические решения и улучшая качество жизни людей»[9].

Производственный цикл Тольяттикаучук изображён на рисунке 1.

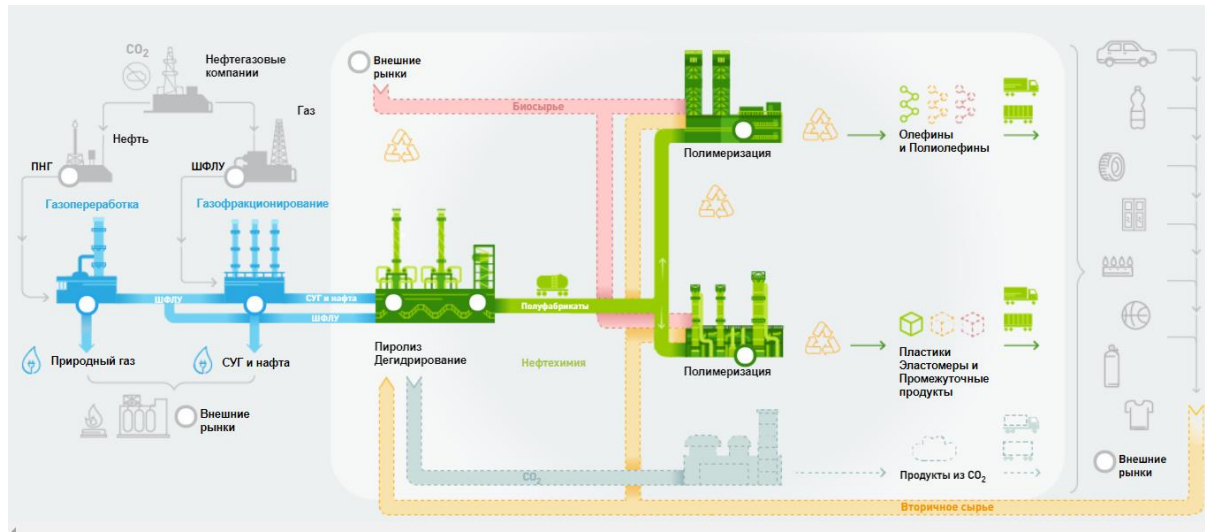


Рисунок 1 – Производственный цикл Тольяттикаучук

Энергоснабжение компании Тольяттикаучук устроено следующим образом: основной ввод происходит от 4 «главных понизительных подстанций открытых распределительных устройств (ОРУ) 110/6 кВ,

питающих распределительные подстанции (РП) 6 кВ, которые» [6] расположены на территории завода. РП далее распределяют поступившую электроэнергию между распределительными пунктами в цехах. Таким образом комплектные трансформаторные подстанции (КТП) низкого напряжения, которые и питают цеха Тольяттикаучук, запитываются от подстанций 6 кВ. Последние получают питание, в свою очередь, от главных понизительных подстанций (ГПП 1-3) 110 кВ.

В цехах ООО «Тольяттикаучук» (впоследствии ООО «Тольяттикаучук») налажены следующие виды выпуска продукции:

- бутилкаучук в объеме 75 тыс. т/год;
- бутадиен в объеме 80 тыс. т/год и высокооктановая добавка к бензину в объеме 39,2 тыс. т/год;
- изопрен в объеме 90 тыс. т/год;
- изопреновые каучуки в объеме 82 тыс. т/год;
- изобутилен-изобутановая фракция в объеме 165 тыс. т/год и изобутилен в объеме 60 тыс. т/год;
- сополимерные каучуки в объеме 60 тыс. т/год.

«Также в состав предприятия входят товарно-сырьевой цех и цех электроавтоматики и измерений» [30].

Суммарный объем выпуска продукции варьируется от 600 до 740 тыс. т/год. Для обеспечения цехов предприятия, а именно существующих ГПП 1-4 110 кВ ООО «Тольяттикаучук» нужной производительностью, необходимо достичь установленной мощности питающих сетей – 72 МВт.

Оборудование в цехах Тольяттикаучук производит выделение из бутилен-, изобутилен-, и изопренсодержащих отходов полимеры высокой чистоты, а также высокоактивные химические соединения и высокооктановые добавки к бензину. «Из этих условий следует то, что цеха Тольяттикаучук является взрывоопасными, а все (или подавляющее большинство) потребителей электроэнергии цехов Тольяттикаучук относятся к I категории надежности электроснабжения потребителя» [7].

«На все электродвигатели (ЭД) должны быть установлены устройства защиты, которые должны исполнять роль мониторов токов двигателя (МТД). Они предназначены для мониторинга и защиты ЭД от недопустимых перегрузок асинхронных двигателей»[1].

«МТД позволяет выставить время срабатывания и реагирует на:

- недопустимые по продолжительности перегрузки;
- превышение тока номинального;
- обрыв фазы по току или недогрузку по току» [10].

Нагрузка, присущая предприятию обладает повышенными требованиями к бесперебойности электроснабжения, а конкретнее, к наибольшему времени перерыва в электроснабжении. Если быть конкретнее, перерыв должен не превышать время срабатывания защит механических приводов, время потерь инерционного момента вращения двигателей, время размыкания контактов магнитных пускателей.[24]

## **1.2 Расчет электрических нагрузок**

«Расчет допустимых электрических нагрузок в проектах электрификации производится для определения допустимых рабочих токов» [23]. «Согласно таблицам из ПУЭ на основании полученных в ходе расчета данных выбираются кабели с необходимым сечением по условиям протекания длительно допустимых токов, автоматические, секционные и вводные выключатели и устройства защиты»[11].

- Определяется расчетная нагрузка для сетей питания напряжением до 1000 В и на шинопроводах каждой цеховой трансформаторной подстанции (ТП). Одновременно с этим ведется построение сети питания выбранного цеха, а также выбор сечений проводников и аппаратов релейной защиты и автоматики, уточняются мощности трансформаторов. [14]



- Выполняется электрический расчет нагрузки на напряжении до 1000 В в целом по предприятию (цеху) «для выявления общего числа и мощности цеховых» [6] трансформаторных подстанций.
- «Выполняется электрический расчет нагрузки на напряжении 6-10 кВ и выше на сборных шинах распределительных пунктов (РП), главных понизительных подстанций (ГПП), подстанций глубокого ввода (ПГВ)» [1].
- На границе балансовой принадлежности рассчитывается величина нагрузки энергосистемы. Система энергоснабжения проектируется исходя из критериев потребителей, а именно: их количество, характер работы и нюансы присущие обособленным потребителям.

На рисунке ниже представлена упрощенная принципиальная схема уровней предприятия, на которых происходит расчёт электрических нагрузок.

Нагрузки рассчитываются, в первую очередь, с самого маленького звена энергосистемы. В данном случае, таковым является щит силового управления (ЩСУ). «Составляется таблица с наименованиями узлов, указывающих электроприемники с номинальной мощностью, взятой из паспортных данных. Далее расчет производится в следующем порядке:

а) По справочным данным в таблице заполняются:

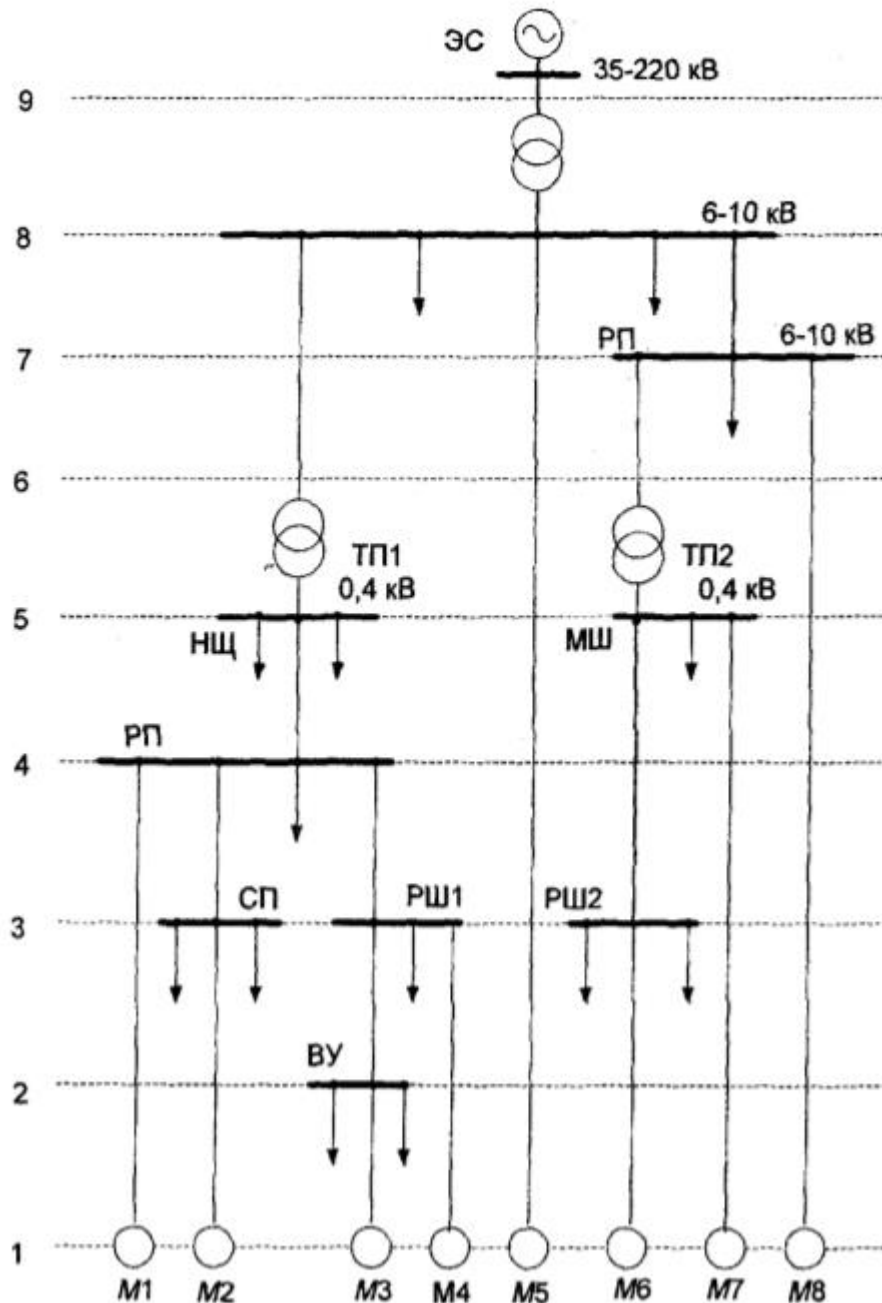
- значения коэффициента использования -  $K_{и}$ ;
- номинальная мощность электроприемников (ЭП) сети -  $P_{н}$ ;
- значения  $\cos\varphi$ , по которому определён  $\operatorname{tg}\varphi$  для каждого электроприёмника» [12].

б) «Рассчитывается средняя активная нагрузка по формуле 1:

$$P_C = K_{и} \cdot P_{н} \quad (1)$$

где  $P_C$  - средняя активная нагрузка, кВт;

$K_H$  - коэффициент использования оборудования, который определяется по справочным данным;  
 $P_H$  - мощность одного электроприёмника, кВт» [6].



«Рисунок 2 – Уровни определения расчётных нагрузок

в) Рассчитывается средняя реактивная нагрузка по формуле 2:

$$Q_C = K_{II} \cdot P_H \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

где  $K_{II}$  - коэффициент использования оборудования;

$Q_C$  - средняя реактивная нагрузка, кВАр;

$\operatorname{tg} \varphi$  - коэффициент мощности, который определяется по справочным данным»[22].

г) «Определяется эффективное количество электрических потребителей  $m$ : если  $m < 3$ , то  $n_э$  принимается равным фактическому числу приемников, в случае, когда  $m > 3$ , то  $n_э$  определяется по формуле 3:

$$n_э = \frac{2 \cdot P_{H\Sigma}}{P_{H \text{ наиб}}} \quad (3)$$

где  $n_э$  - эффективное число электроприемников, шт;

$P_{H\Sigma}$  - суммарная цеховая мощность электроприемников, кВт;

$P_{H \text{ наиб}}$  - максимальная мощность электроприемника кВт [22].

д) Величина  $m$  влияет на метод расчета эффективного числа ЭП и рассчитывается по формуле 4:

$$m = \frac{P_{H \text{ наиб}}}{P_{H \text{ наим}}}, \quad (4)$$

где  $P_{H \text{ наиб}}$  - номинальные активные мощности наибольшего и наименьшего электроприемника в группе, кВт;

$P_{H \text{ наим}}$  - номинальные активные мощности наименьшего электроприемника в группе, кВт.

е) Расчетная активная нагрузка определяется по формуле 5:

$$P_p = K_{ма} \cdot \Sigma P_C, \quad (5)$$

где  $\Sigma P_C$  – расчетная нагрузка группы электроприемников;

$K_{ма}$  – коэффициент максимума на шинах низкого напряжения цеховых трансформаторов и для магистральных шинопроводов напряжением до 1000 В.

Значение  $K_{ма}$  определяется на основании справочных данных. В данном случае  $K_{ма} = 1,14$  [22].

ж) Расчетная реактивная мощность определяется по формуле 6:

$$Q_p = K_{mp} \cdot \Sigma Q_C, \quad (6)$$

где  $Q_p$  – расчетная реактивная мощность, кВАр;  $K_{mp}$  – коэффициент максимума реактивной мощности. При  $n_{\text{э}} = 13$  его значение принимается равным  $K_{mp} = 1$  [22].

з) Расчетная полная мощность определяется по формуле 7:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (7)$$

где  $S_p$  – расчетная полная мощность, кВА [2].

и) Токовая расчетная нагрузка определяется по формуле 8:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (8)$$

где  $U_H$  – номинальное напряжение [22].

Так, далее приведем расчет на примере электродвигателя насоса ВАО-72-1. Его номинальная мощность составляет  $P_H = 30$  кВт. Исходя из справочных данных:  $K_H = 0,7$ ;  $\cos \varphi = 0,9$ ;  $\operatorname{tg} \varphi = 0,48$ .

По формуле 1 и 2 определим среднюю активную и среднюю реактивную нагрузки» [6]:

$$P_C = 0,7 \cdot 30 = 21 \text{ кВт},$$

$$Q_C = 0,7 \cdot 30 \cdot 0,48 = 10,17 \text{ квар}.$$

Аналогичным образом рассчитываются все остальные электроприемники производства [21], результат заносится в таблицу 1 и 2.

Всего на территории ООО «Тольяттикаучук» находится 6 производств для изготовления различного вида полимеров и сложных соединений, и имеется 2 цеха электроавтоматики и измерений. Все цеха имеют общую структуру построения энергетической питающей сети, с учётом условий непосредственно на местности, и типовое электрооборудование, которое используется для производства технологических процессов. [3]

Энергетическая служба предприятия выполняет в том числе функции по эксплуатации и сопровождению электроприёмников, а также проводит надзор за соблюдением баланса энергопотребления между цехами производств, чтобы суммарная мгновенная пиковая мощность всех цехов не превышала установленные допустимые показатели номинальной мощности.

Так, например, по состоянию на 2019 год для обеспечения электроэнергией существующих ГПП 1-4 110 кВ ООО «Тольяттикаучук» выдача мощности с питающей линии не должна превышать 72 МВт. [17]

Как уже было сказано ранее, ООО «Тольяттикаучук» содержит в себе 6 производств, разбитых на несколько цехов. Так же в «состав предприятия входят товарно-сырьевой цех и цех электроавтоматики и измерений» [6].

Так как основная мысль магистерской диссертации в определении рационального пути развития компании «Тольяттикаучук», то нет никакого смысла приводить здесь расчёт абсолютно всех цехов и производственных помещений предприятия, и исходя из этого принципа, все дальнейшие расчёты представлены для одного из цехов производства бутилкаучука (БК),

в котором налажен выпуск бутилкаучука и его соединений мощностью 65-75 тыс. т/год., что составляет в разное время от 11 до 14% от общего объема потребления электроэнергии и расчётной мощности электроприёмников.

«Расчетная нагрузка и ток ЩСУ-1 будет находиться путем сложения конечных данных, полученных в таблице 1 и таблице 2:

Сумма расчетной активной нагрузки:

$$\sum P_p = 230,92 + 222,83 = 453,75 \text{ кВт.}$$

Сумма реактивных расчетных мощностей:

$$\sum Q_p = 108,72 + 100,53 = 209,25 \text{ квар.}$$

Сумма расчетных полных мощностей» [6]:

$$\sum S_p = 255,24 + 244,46 = 499,69 \text{ кВА.}$$

Сумма токов [22]:

$$\sum I_p = 375,35 + 359,49 = 734,84 \text{ А.}$$

Ниже в таблицах сведены данные для этого цеха.

Таблица 1 – Расчет нагрузок первого ввода ЩСУ 1

Тип оборудования	Наименование и № технол. оборуд.	Наименование, тип, марка ЭО	Pн, кВт	cosφ	m	Ки	tgφ	Средняя нагрузка		пэ	Кма/Кмр	Расчетная нагрузка			Ip, А
								Рс, кВт	Qс, квар			Pr, кВт	Qp, квар	Sp, кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Насос	Н-37/1	BAO-52-2	13	0,88	3	0,7	0,54	9,10	4,91	1,97	1,14/1	6,80	3,93	6,5	8,5
Насос	Н-39/1	BAO-72-2	30	0,9	4	0,7	0,48	21,00	10,17	0,84	1,14/1	2,25	1,69	6	5,2
Насос	Н-66	BAO-72-2	30	0,9	3	0,7	0,48	21,00	10,17	0,42	1,14/1	1,40	0,84	3,5	1,7
Насос	Н-70a/2	BAO-52-2	13	0,88	4	0,7	0,54	9,10	4,91	1,97	1,14/1	5,80	3,93	7,52	9,5
Насос	Н-107/1	BAO-72-2	30	0,9	3	0,7	0,48	21,00	10,17	1,96	1,14/1	6,80	3,93	7,52	9,5
Насос	Н-112/1	BAO-52-2	13	0,88	4	0,7	0,54	9,10	4,91	2,11	1,14/1	6,80	4,22	7,52	9,5
Насос	Н-243	BAO-071-4	0,27	0,88	3	0,7	0,54	0,19	0,10	1,17	1,14/1	7,80	3,34	7,52	9,5
Насос	Н-5a/1	BA-132M-2	11	0,9	5	0,7	0,48	7,70	3,73	1,17	1,14/1	7,80	3,34	7,52	9,5
Насос	Н-124/1	BAO-51-2	10	0,88	4	0,7	0,54	7,00	3,78	0,26	1,14/1	2,60	0,53	2,8	4,8
Насос	Н-141/1	BA-200L-2	45	0,89	3	0,7	0,51	31,50	16,14	0,64	1,14/1	2,65	1,28	3,2	4,2
Насос	Н-141/4	BAO-81-2	40	0,9	4	0,7	0,48	28,00	13,56	2,11	1,14/1	7,80	4,22	7,52	9,5
Вентсистема	П-12/2	4A-112M-4	5,5	0,86	3	0,75	0,59	4,13	2,45	0,11	1,14/1	1,30	0,21	2,25	2,2
Вентсистема	П-13/2	4A-80B-4	1,5	0,8	3	0,75	0,75	1,13	0,84	1,67	1,14/1	7,80	3,34	7,52	9,5
Вентсистема	В-6a/2	BAO-72-6	22	0,88	2	0,75	0,54	16,50	8,91	2,11	1,14/1	7,80	4,22	7,51	9,5
Вентсистема	В-8/1	BA-160S-8	7,5	0,7	1	0,75	1,02	5,63	5,74	0,13	1,14/1	2,50	0,26	11,55	2,55
Вентсистема	AB-3	BAO-62-8	10	0,77	167	0,75	0,83	7,50	6,21	1,96	1,14/1	6,80	3,93	7,52	9,5
Вентсистема	ВЗ-1	4A-100L-4	4	0,83	3	0,75	0,67	3,00	2,02	1,11	1,14/1	7,80	3,34	7,52	9,5
ИТОГО	Итого на ввод 1	-	285,77	-	≥3	0,71	0,54	202,56	108,72	0,91	1,14/1	7,80	3,34	7,52	9,5

Таблица 2 – Расчет нагрузок второго ввода ЩСУ 1

Подгруппа	Наименование и № технол. оборуд.	Наименование, тип, марка электрооборудования	P, кВт	cosφ	m	Ки	tgφ	Средняя нагрузка		пэ	Кма/Кмр	Расчетная нагрузка			Ip, А
								Pс, кВт	Qс, квар			Pp, кВт	Qp, квар	Sp, кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Эл.движка	Э/3-1 пожарной системы	ВАОА-13-4	1,5	0,81		0,2	0,72	0,30	0,22	1,97	1,14/1	6,80	3,93	6,5	8,5
Эл.движка	Э/3-2 пожарной системы	ВАОА-13-4	1,5	0,81		0,2	0,72	0,30	0,22	0,84	1,14/1	2,25	1,69	6	5,2
Грузоподъемные механизмы	Подъемник	АОЛ-21-4	3,2	0,8		0,2	0,75	0,64	0,48	0,42	1,14/1	1,40	0,84	3,5	1,7
Насос	Н-37/2	ВАО-52-2	13	0,88		0,7	0,54	9,10	4,91	1,97	1,14/1	5,80	3,93	7,52	9,5
Насос	Н-39/2	ВАО-72-2	30	0,9		0,7	0,48	21,00	10,17	1,96	1,14/1	6,80	3,93	7,52	9,5
Насос	Н-70а/1	ВАО-52-2	13	0,88		0,7	0,54	9,10	4,91	2,11	1,14/1	6,80	4,22	7,52	9,5
Насос	Н-78	ВАО-52-2	13	0,88		0,7	0,54	9,10	4,91	1,17	1,14/1	7,80	3,34	7,52	9,5
Насос	Н-91	ВАО-62-2	17	0,9		0,7	0,48	11,90	5,76	1,17	1,14/1	7,80	3,34	7,52	9,5
Насос	Н-94а	ВАО-62-2	17	0,9		0,7	0,48	11,90	5,76	0,26	1,14/1	2,60	0,53	2,8	4,8
Насос	Н-107/2	ВАО-72-2	30	0,9		0,7	0,48	21,00	10,17	0,64	1,14/1	2,65	1,28	3,2	4,2
Насос	Н-112/2	ВАО-52-2	13	0,88		0,7	0,54	9,10	4,91	2,11	1,14/1	7,80	4,22	7,52	9,5
Насос	Н-5а/2	ВА-132М-2	11	0,9		0,7	0,48	7,70	3,73	0,11	1,14/1	1,30	0,21	2,25	2,2
Насос	Н-141/3	ВАО-81-2	40	0,9		0,7	0,48	28,00	13,56	1,67	1,14/1	7,80	3,34	7,52	9,5
Эл.движка	Э/3-5 пенотушения	В-63В-4	0,37	0,81		0,2	0,72	0,07	0,05	2,11	1,14/1	7,80	4,22	7,51	9,5
Вентсистема	П-12/1	4А-112М-4	5,5	0,83		0,75	0,67	4,13	2,77	0,13	1,14/1	2,50	0,26	11,55	2,55
Вентсистема	П-13/1	4А-80В-4	1,5	0,8		0,75	0,75	1,13	0,84	1,96	1,14/1	6,80	3,93	7,52	9,5
Вентсистема	В-6а/1	ВАО-72-6	22	0,88	122	0,75	0,54	16,50	8,91	1,11	1,14/1	7,80	3,34	7,52	9,5
Вентсистема	В-8/2	АИММ-100L-4	4	0,82		0,75	0,70	3,00	2,09	0,91	1,14/1	7,80	3,34	7,52	9,5
Итого на ввод 2	-	-	281,57	-	≥3	0,69	0,51	195,46	100,53	13	1,14/1	222,83	100,53	244,46	359,49



Для расчёта электрических нагрузок необходимо рассчитать также мощности, токи и другие параметры для распределительных устройств, которые питают одни и те же электроприёмники.

«Данные для этих устройств будут находиться по следующим формулам: полная расчетная мощность насосов[22] вычисляется по формуле 10:

$$I_p = \frac{P_p}{\cos\varphi}, \quad (10)$$

Расчетный ток для насосов вычисляется по формуле 1.11:

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi \cdot \eta}, \quad (11)$$

Данные о нагрузке I и II секции шинпровода, питающих одни и те же потребители, приведены в таблице 3 и 4 соответственно»[22].

Таблица 3 – Расчет нагрузки на секции I

Подгруппа	Наименование и № технол. оборуд.	Наименование, тип, марка электрооборудования	P, кВт	$\cos\varphi$	$\eta$ (КПД)	S <sub>p</sub> ,кВА	I <sub>p</sub> , А
Насос	Н-247 вакуумный насос	АОЗ-400S-12	110	0,77	0,9	143	233,5
Насос	Н-132/1 пожарной системы	4АН-280S-4	132	0,88	0,9	150	245,1
Без учёта ЩСУ и освещения			-	-	-	293	478,52
Итого на секцию			-	-	-	426	-

18 Таблица 4 – Расчет нагрузки на секции II

Подгруппа	Наименование и № технол. оборуд.	Наименование, тип, марка электрооборудования	P, кВт	$\cos\varphi$	$\eta$ (КПД)	S <sub>p</sub> ,кВА	I <sub>p</sub> , А
Насос	Н-2/2	КО-51-2	70	0,88	0,9	79,55	129,97
Насос	Н-2/1	КО-51-2	70	0,88	0,9	79,55	129,97
Насос	Н-132/2 пожарной системы	4АН-280S-4	132	0,88	0,9	150,00	245,10
Без учёта ЩСУ и освещения			-	-	-	309,1	505,05
Итого на секцию			-	-	-	449	-

«Расчёт III и IV секции шин КНТП-2 с учетом ЩСУ и освещения производился аналогично расчету I и II секции КНТП-1. Данные по нагрузке приведены в таблице 1.9 и 1.10 для III и IV секции шин соответственно. Расчет ЩСУ-2 и ЩСУ3 приведены в таблице 5, 6 и 7, 8 соответственно»[22].

«Расчетная нагрузка и ток ЩСУ-2 и ЩСУ-3 будет находиться путем сложения конечных данных, полученных в таблицах 5, 6, 7 и 8.

Сумма расчетной активной нагрузки» [6]:

$$\sum P_p = 141,22 + 322,50 = 463,72 \text{ кВт.}$$

Сумма реактивных расчетных мощностей:

$$\sum Q_p = 108,72 + 110,54 = 219,26 \text{ квар.}$$

Сумма расчетных полных мощностей:

$$\sum S_p = 345,24 + 234,66 = 579,89 \text{ кВА.}$$

Сумма токов:

$$\sum I_p = 375,35 + 359,49 = 734,84 \text{ А.}$$

Таблица 5 – Расчет нагрузок первого ввода ЩСУ-2

Подгруппа	Наименование и № технол.	Наименование, тип, марка электрооборудования	$P_n$ , кВт	cos	m	Ки	tgφ	Средняя нагрузка	пэ	Кма/Кмр	Расчетная нагрузка	$S_p$ , кВА	$I_p$ , А
-----------	--------------------------	--	-------------	-----	---	----	-----	------------------	----	---------	--------------------	-------------	-----------

								Рс, кВт	Qс, квар			Рр, кВт	Qр, квар		
Насос	Н-151	ВАО-41-2	5,5	0,89	-	0,7	0,51	3,85	1,97	1,97	1,18/1	6,80	3,93	6,5	8,5
Насос	Н-20/2	ВАО-52-2	13	0,88	-	0,7	0,54	9,10	4,91	0,84	1,18/1	2,25	1,69	6	5,2
Насос	Н-25/2	ВАО-52-2	13	0,88	-	0,7	0,54	9,10	4,91	0,42	1,18/1	1,40	0,84	3,5	1,7
Подгруппа	Наименование и № технол. оборуд.	Наименование, тип, марка электрооборуд ования	Рн, кВт	cos	m	Ки	tgφ	Средняя нагрузка		пэ	Кма/ Кмр	Расчетная нагрузка		Sp, кВА	Ip, А
								Рс, кВт	Qс, квар			Рр, кВт	Qр, квар		
Насос	Н-20/1	ВАО-52-2	13	0,88	7	0,7	0,54	9,10	4,91	1,97	1,2/1	6,80	3,93	6,5	8,5
Насос	Н-25/1	ВАО-52-2	13	0,88	7	0,7	0,54	9,10	4,91	0,84	1,2/1	2,25	1,69	6	5,2
Насос	Н-35	ВАО-41-2	5,5	0,89	8	0,7	0,51	3,85	1,97	0,42	1,2/1	1,40	0,84	3,5	1,7
Насос	Н-41/2	В-90В-2	3	0,85	7	0,7	0,62	2,10	1,30	1,97	1,2/1	5,80	3,93	7,52	9,5
Насос	Н-59/1	ВА-132М-2	11	0,9	-	0,7	0,48	7,7	3,73	0,64	1,18/1	2,65	1,28	3,2	4,2
Насос	Н-59/2	АИМ-132М-2	11	0,9	-	0,7	0,48	7,7	3,73	2,11	1,18/1	7,80	4,22	7,52	9,5
Насос	Н-60/2	ВАО-52-2	13	0,88	-	0,7	0,54	9,1	4,91	0,11	1,18/1	1,30	0,21	2,25	2,2
Насос	Н-85/1	ВАО-62-2	17	0,9	-	0,7	0,48	11,9	5,76	1,67	1,18/1	7,80	3,34	7,52	9,5
Насос	Н-117/1 (нов)	АИММ-160S-2	15	0,88	-	0,7	0,54	10,5	5,67	2,11	1,18/1	7,80	4,22	7,51	9,5
Насос	Н-124/2	ВАО-52-2	13	0,88	-	0,7	0,54	9,1	4,91	0,13	1,18/1	2,50	0,26	11,55	2,55
Вентсистема	В-7а	АИММ-63В-2	0,55	0,82	100	0,75	0,70	0,41	0,29	1,96	1,18/1	6,80	3,93	7,52	9,5
Итого			204,15		-	0,70	-	142,9 3	78,62	21	1,18/1	168,66	78,62	186,09	273,7

Таблица 6 – Расчет нагрузок второго ввода ЩСУ-2

Насос	Н-128/2	ВАО-21-4	1,1	0,86	8	0,7	0,59	0,77	0,46	1,96	1,2/1	6,80	3,93	7,52	9,5
Насос	Н-47/1	ВАО-52-2	13	0,88	9	0,7	0,54	9,10	4,91	2,11	1,2/1	6,80	4,22	7,52	9,5
Насос	Н-48а/1	АИММ-100S-2	4	0,87	7	0,7	0,57	2,80	1,59	1,17	1,2/1	7,80	3,34	7,52	9,5
Насос	Н-52/1	ВАО-82-2	55	0,9	8	0,7	0,48	38,50	18,65	1,17	1,2/1	7,80	3,34	7,52	9,5
Насос	Н-59/1	ВА-132М-2	11	0,82	7	0,7	0,70	7,70	5,37	0,26	1,2/1	2,60	0,53	2,8	4,8
Насос	Н-59/2	АИМ-132М-2	11	0,82	8	0,7	0,70	7,70	5,37	0,64	1,2/1	2,65	1,28	3,2	4,2
Насос	Н-60/1	ВАО-52-2	13	0,88	8	0,7	0,54	9,10	4,91	2,11	1,2/1	7,80	4,22	7,52	9,5
Насос	Н-85/2	ВАО-62-2	17	0,9	7	0,7	0,48	11,90	5,76	0,11	1,2/1	1,30	0,21	2,25	2,2
Насос	Н-85/3	ВАО-62-2	17	0,9	8	0,7	0,48	11,90	5,76	1,67	1,2/1	7,80	3,34	7,52	9,5
Насос	Н-110	ВАО-51-6	5,5	0,9	7	0,7	0,48	3,85	1,86	2,11	1,2/1	7,80	4,22	7,51	9,5
Насос	Н-117/2 (нов)	АИММ-160S-2	15	0,81	4	0,7	0,72	10,50	7,60	0,13	1,2/1	2,50	0,26	11,55	2,55
Эл.двигатель	Э/3-1 пожарной системы	ВАОА-13-4	1,5	0,81	5	0,2	0,72	0,30	0,22	1,97	1,2/1	7,80	3,93	6,5	8,5
Эл.двигатель	Э/3-2 пожарной системы	ВАОА-13-4	1,5	0,81	7	0,2	0,72	0,30	0,22	0,84	1,2/1	5,25	1,69	3	5,2
Эл.двигатель	Э/3-3 пожарной системы	В-63В-4	0,37	0,81	5	0,2	0,72	0,07	0,05	0,42	1,2/1	4,40	0,84	1,5	1,7
Эл.двигатель	Э/3-4 пожарной системы	В-63В-4	0,37	0,81	9	0,2	0,72	0,07	0,05	1,97	1,2/1	8,80	3,93	6,52	9,5
Итого:	-	-	200,8 4	-	149	0,69	-	138,72	75,89	23	1,2/1	166,461 6	75,89	182,95	269,04

Таблица 7 - Первый ввод ЩСУ-3

Подгруппа	Наименование и № технол. оборуд.	Наименование, тип, марка электрооборудования	Pн, кВт	cos	m	Ки	tgφ	Средняя нагрузка		пэ	Кма/Кмп	Расчетная нагрузка			Ip, А
								Pс, кВт	Qс, квар			Pp, кВт	Qp, квар	Sp, кВА	
Вентсистема	П-1/2	АО2-52-6	7,5	0,82	3	0,75	0,70	5,63	3,93	1,97	1,1/1	5,80	3,93	6,5	8,5
Вентсистема	П-2/2	4А-90L-4	3	0,81	3	0,75	0,72	2,25	1,63	0,84	1,1/1	2,25	1,69	3	5,2
Вентсистема	П-2а/2	4АА-80А-6	1,1	0,74	3	0,75	0,91	0,83	0,75	0,42	1,1/1	1,40	0,84	1,5	1,7
Вентсистема	П-3/2	4А-100L-4	4	0,83	3	0,75	0,67	3,00	2,02	1,97	1,1/1	5,80	3,93	6,52	9,5
Вентсистема	П-4/2	АО2-52-6	7,5	0,82	3	0,75	0,70	5,63	3,93	1,96	1,1/1	5,80	3,93	6,52	9,5
Вентсистема	П-5/2	ВАО-52-6	7,5	0,8	3	0,75	0,75	5,63	4,22	2,11	1,1/1	5,80	4,22	6,52	9,5
Вентсистема	П-6/2	ВАО-42-4	5,5	0,86	3	0,75	0,59	4,13	2,45	1,17	1,1/1	5,80	3,34	6,52	9,5
Вентсистема	П-7/2	ВАО-51-4	7,5	0,86	3	0,75	0,59	5,63	3,34	1,17	1,1/1	5,80	3,34	6,52	9,5
Вентсистема	П-8/2	В-71В-4	0,75	0,8	3	0,75	0,75	0,56	0,42	0,26	1,1/1	0,60	0,53	0,8	4,8
Вентсистема	П-9/2	В-90L-4	2,2	0,79	3	0,75	0,78	1,65	1,28	0,64	1,1/1	1,65	1,28	2,2	4,2
Вентсистема	П-11	ВАО-52-6	7,5	0,8	3	0,75	0,75	5,63	4,22	2,11	1,1/1	5,80	4,22	7,52	9,5
Вентсистема	П-14/1	В-63А-4	0,25	0,67	3	0,75	1,11	0,19	0,21	0,11	1,1/1	0,30	0,21	0,25	2,2
Вентсистема	В-2/2	ВАО-51-4	7,5	0,86	3	0,75	0,59	5,63	3,34	1,67	1,1/1	5,80	3,34	7,52	9,5
Вентсистема	В-3/1	ВАО-52-6	7,5	0,8	3	0,75	0,75	5,63	4,22	2,11	1,1/1	5,80	4,22	7,51	9,5
Вентсистема	АВ-1	ВАО-51-4	7,5	0,86	3	0,75	0,59	5,63	3,34	0,13	1,1/1	0,50	0,26	0,55	2,55
Итого:	-	-	76,8	-	3	0,75	-	57,60	39,27	23,5	1,1/1	64,60	45,47	78,99	116,17

Таблица 8 - Второй ввод ЩСУ-3

Подгруппа	Наименование и № технол. оборуд.	Наименование, тип, марка электрооборудования	P <sub>н</sub> , кВт	cos	m	Ки	tgφ	Средняя нагрузка		пэ	Кма/Км р	Расчетная нагрузка			I <sub>р</sub> , А
								P <sub>с</sub> , кВт	Q <sub>с</sub> , квар			P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , квар	S <sub>р</sub> , кВА	
Вентсистема	П-1/1	АО2-52-6	7,5	0,82	3	0,75	0,70	5,63	3,93	1,97	1,1/1	5,80	3,93	6,5	8,5
Вентсистема	П-2/1	4А-100S-4	3	0,8	3	0,75	0,75	2,25	1,69	0,84	1,1/1	2,25	1,69	3	5,2
Вентсистема	П-2а/1	4АМ-80В-4	1,5	0,8	3	0,75	0,75	1,13	0,84	0,42	1,1/1	1,40	0,84	1,5	1,7
Вентсистема	П-3/1	АОЛ2-52-6	7,5	0,82	3	0,75	0,70	5,63	3,93	1,97	1,1/1	5,80	3,93	6,52	9,5
Вентсистема	П-4/1	АО2-52-6	7,5	0,82	3	0,75	0,70	5,63	3,93	1,96	1,1/1	5,80	3,93	6,52	9,5
Вентсистема	П-5/1	ВАО-52-6	7,5	0,8	3	0,75	0,75	5,63	4,22	2,11	1,1/1	5,80	4,22	6,52	9,5
Вентсистема	П-6/1	ВАО-51-4	7,5	0,86	3	0,75	0,59	5,63	3,34	1,17	1,1/1	5,80	3,34	6,52	9,5
Вентсистема	П-7/1	ВАО-51-4	7,5	0,86	3	0,75	0,59	5,63	3,34	1,17	1,1/1	5,80	3,34	6,52	9,5
Вентсистема	П-8/1	ВАО-12-4	0,8	0,75	3	0,75	0,88	0,60	0,53	0,26	1,1/1	0,60	0,53	0,8	4,8
Вентсистема	П-9/1	В-90L-4	2,2	0,79	3	0,75	0,78	1,65	1,28	0,64	1,1/1	1,65	1,28	2,2	4,2
Вентсистема	П-10	ВАО-52-6	7,5	0,8	3	0,75	0,75	5,63	4,22	2,11	1,1/1	5,80	4,22	7,52	9,5
Вентсистема	П-14/2	В-63А-4	0,25	0,67	3	0,75	1,11	0,19	0,21	0,11	1,1/1	0,30	0,21	0,25	2,2
Вентсистема	В-2/1	ВАО-51-4	7,5	0,86	3	0,75	0,59	5,63	3,34	1,67	1,1/1	5,80	3,34	7,52	9,5
Вентсистема	В-3/2	ВАО-52-6	7,5	0,8	3	0,75	0,75	5,63	4,22	2,11	1,1/1	5,80	4,22	7,51	9,5
Вентсистема	В-7	АИММ-63В-2	0,55	0,85	3	0,75	0,62	0,41	0,26	0,13	1,1/1	0,50	0,26	0,55	2,55
Вентсистема	АВ-2	ВАО-62-8	10	0,77	3	0,75	0,83	7,50	6,21	3,1	1,1/1	7,50	6,21	10	2,32
Итого:	--	-	85,8	-	3	0,68	-	58,73	45,47	23	1,1/1	64,60	45,47	78,99	116,17



Таблица 9 – Расчет нагрузки на секции III

Подгруппа	Наименование и № технол. оборуд.	Наименование, тип, марка электрооборудования	P, кВт	cosφ	η (КПД)	Sp,кВА	Ip, А
Насос	Н-99/1	НAR-315SA-2	110	0,91	0,94	120,88	189,11
Насос	Н-17/2	КО-52-2	100	0,91	0,91	109,89	177,5858
-	-	-	-	-	-	-	-
Без учёта ЩСУ и освещения						230,77	366,7
Итого на секцию			-	-	-	492,77	-

Таблица 10 – Расчет нагрузки на секции IV

Подгруппа	Наименование и № технол. оборуд.	Наименование, тип, марка электрооборудования	P, кВт	cosφ	η (КПД)	Sp,кВА	Ip, А
Насос	Н-99/2	НAR-315SA-2	110	0,91	0,94	120,88	189,11
Насос	Н-17/1	КО-52-2	100	0,91	0,91	109,89	177,5858
Без учёта ЩСУ и освещения						230,77	366,7
Итого на секцию			-	-	-	492,77	-

По таблицам можно заметить, что нагрузки на секции сравнимы, что означает симметричность нагрузок.

Сумма расчетных полных мощностей:  $\sum S_p = 345,24 + 234,66 = 579,89$  кВА.

Сумма токов:  $\sum I_p = 375,35 + 359,49 = 734,84$  А.» [9]

### 1.3 Особенности потребителей

«В цехах Тольяттикаучук нет электроприемников с резкопеременным или импульсным режимом работы, а технологический процесс отлажен и не имеет случайной структуры графиков нагрузок» [25].

Однолинейная схема изображена на рисунке 3 и 4.

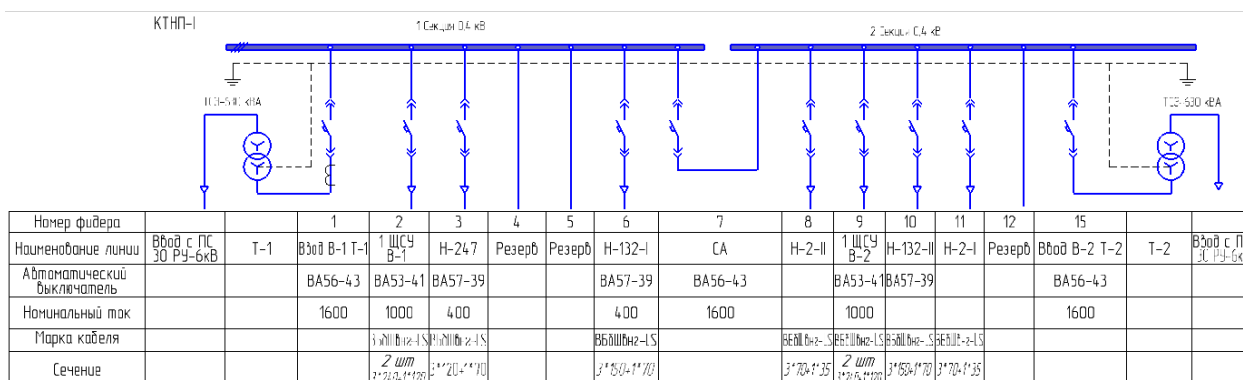


Рисунок 3 – однолинейная схема КНТП 1

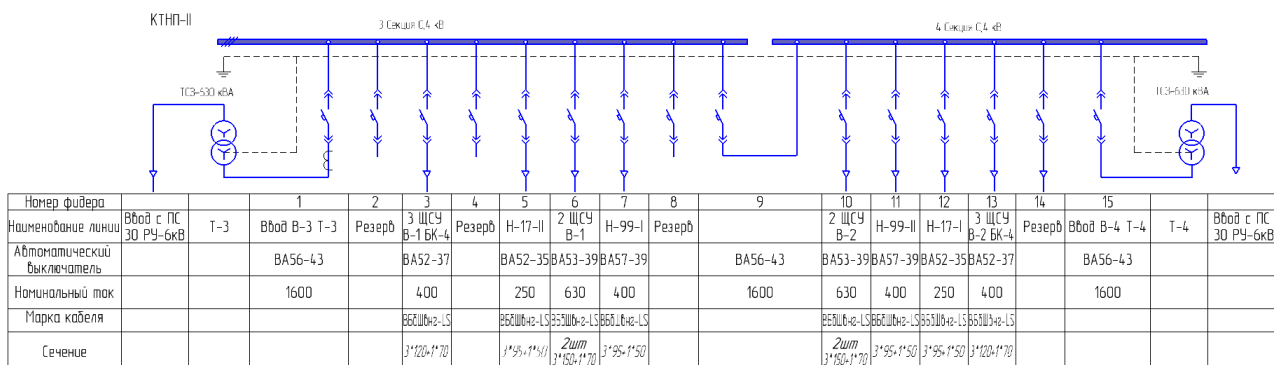


Рисунок 4 – однолинейная схема КНТП 2

Все «двигатели являются асинхронными с короткозамкнутым ротором и особых проблем с самозапуском при переключении секционного выключателя не имеют. Однако эти двигатели подключены к сети с помощью контакторов или магнитных пускателей, которые удерживаются во включенном состоянии благодаря напряжению сети» [6].

«После отключения питания двигатели снижают свою скорость вращения и ЭДС затухает по величине и частоте и при быстрой подаче

напряжения на двигатели токи самозапуска будут большими и к моменту подачи питания ЭДС может находиться с ним в противофазе» [18].

Осциллограмма данных случаев изображена на рисунке 5.

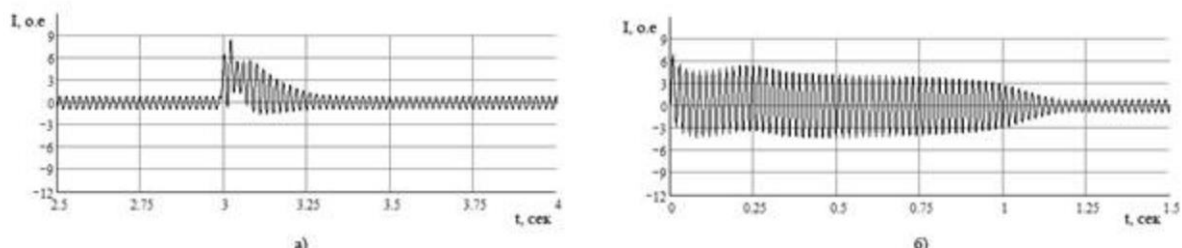


Рисунок 5 – Осциллограмма тока асинхронного двигателя, а) при несинхронной подаче напряжения; б) пусковой ток

«Самозапуском называется процесс восстановления нормальной работы электропривода без вмешательства персонала после кратковременного перерыва электроснабжения или глубокого снижения напряжения. Самозапуск считается обеспеченным, если после восстановления напряжения агрегат разогнался до нормальной угловой скорости и продолжает длительно работать с нормально производительностью приводимого механизма и нагрузкой электродвигателя.

Самозапуск может происходить после кратковременного глубокого снижения напряжения, вследствие близкого короткого замыкания, отключаемого релейной защитой. При этом в самозапуске будут одновременно участвовать те двигатели, у которых напряжение снизилось до значения, вызвавшего снижение угловой скорости. Двигатели все время остаются подключенными к источникам питания. Другим случаем является самозапуск после кратковременного перерыва электроснабжения при срабатывании устройств автоматического ввода резерва или автоматического повторного включения. Здесь в самозапуске участвуют одновременно все двигатели, которые при исчезновении напряжения отключались от источников питания и были вновь подключены к ним после действия автоматики» [6].

В случае с цехом изготовления бутилкаучука при переключении секционного выключателя условий для удачного самозапуска всех электродвигателей недостаточно и необходимо иное решение. Обеспечение самозапуска требует комплексного подхода к каждому двигателю и каждой конкретной ситуации. В некоторых случаях следует запретить самозапуск в условиях техпроцесса и безопасности. В данном случае самозапуск электронных задвижек нецелесообразен и бесполезен, а запуск подъемников вообще может быть опасен для персонала. Применение самозапуска должно допускаться только там, где он необходим.

Выводы по первому разделу

Проведен анализ системы электроснабжения ООО «Тольяттикаучук». Составлена характеристика рассматриваемого объекта – крупнейшей интегрированной нефтегазохимической компании России и одной из наиболее динамично развивающихся компаний глобальной нефтегазохимии. Изучен производственный цикл предприятия и структура основных производств, объемы производимой продукции и электрической мощности, необходимой для ее производства. На основании характеристики среды в цехах предприятия определена степень пожаро- и взрывоопасности, характер нагрузки и режимов работы электрооборудования позволяет отнести его к I категории надежности электроснабжения.

Проведен расчет электрических нагрузок предприятия по допустимым рабочим токам для выбора распределительных устройств, сечений проводников, коммутирующих аппаратов и аппаратов защиты с оптимальными параметрами. Также произведена проверка числа и мощности установленных трансформаторов в части соответствия потребляемой нагрузки.

Выбран оптимальный метод для определения расчетной нагрузки. В результате чего:

- Определена расчетная нагрузка для сетей питания напряжением до 1000 В и на шинопроводах каждой цеховой трансформаторной подстанции (ТП).
- Выполнен электрический расчет нагрузки на напряжении до 1000 В в целом по предприятию (цеху). Выполняется электрический расчет «нагрузки на напряжении 6-10 кВ и выше на сборных шинах распределительных пунктов (РП).
- Определена расчетная электрическая нагрузка предприятия в точке балансового разграничения с энергосистемой» [6].

Выявлены особенности потребителей электрической энергии на предприятии, в особенности, двигательной нагрузки. Установлено, что на «производстве применяются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, которые подключены к сети с помощью контакторов или магнитных пускателей, которые удерживаются во включенном состоянии благодаря напряжению сети» [6].

Проанализированы возможные ситуации, связанные с перебоем питания рассматриваемого оборудования или снижением напряжения питающих линий. Выявлено, как подобные сценарии развития отразятся на режиме работы потребителей, как будет происходить процесс восстановления питания и какие при этом могут быть негативные последствия.

## 2 Анализ режимов работы сети ООО «Тольяттикаучук»

Начнём с небольшой теории, связанной с электроприёмниками режимами работы энергосетей.

Если технологический процесс предполагает значительную нагрузку еще до пуска электродвигателя, целесообразно применение асинхронных двигателей (АД) с короткозамкнутым и фазным ротором. Такое оборудование имеет место быть на рассматриваемом предприятии.

Для двигательной нагрузки и номинальная мощность ЭП принимается по паспортным данным следующей:

$$P_{ном} ЭП = P_{насн} \quad (12)$$

а для трансформаторов и выпрямительных электроустановок рассчитывается по соотношению:

$$P_{ном} S_{насн} \phi_{насн} = \cos \phi_{насн} \quad (13)$$

Кратковременный режим (КР) работы электрооборудования характеризуется относительно небольшими промежутками рабочего времени и значительными перерывами, сопровождающимися обесточиванием оборудования. В таком режиме не происходит продолжительного нагрева оборудования, а при отключении оно относительно быстро остывает до температуры окружающей среды.

По примерным данным потребляемая мощность ЭП в кратковременном режиме определяется:

$$P_{S2} \leq P_{S1} \frac{\sqrt{1}}{1 - e^{-t/T}} \quad (14)$$

где  $P_{S1}$  – номинальная мощность ЭП в длительном режиме работы.

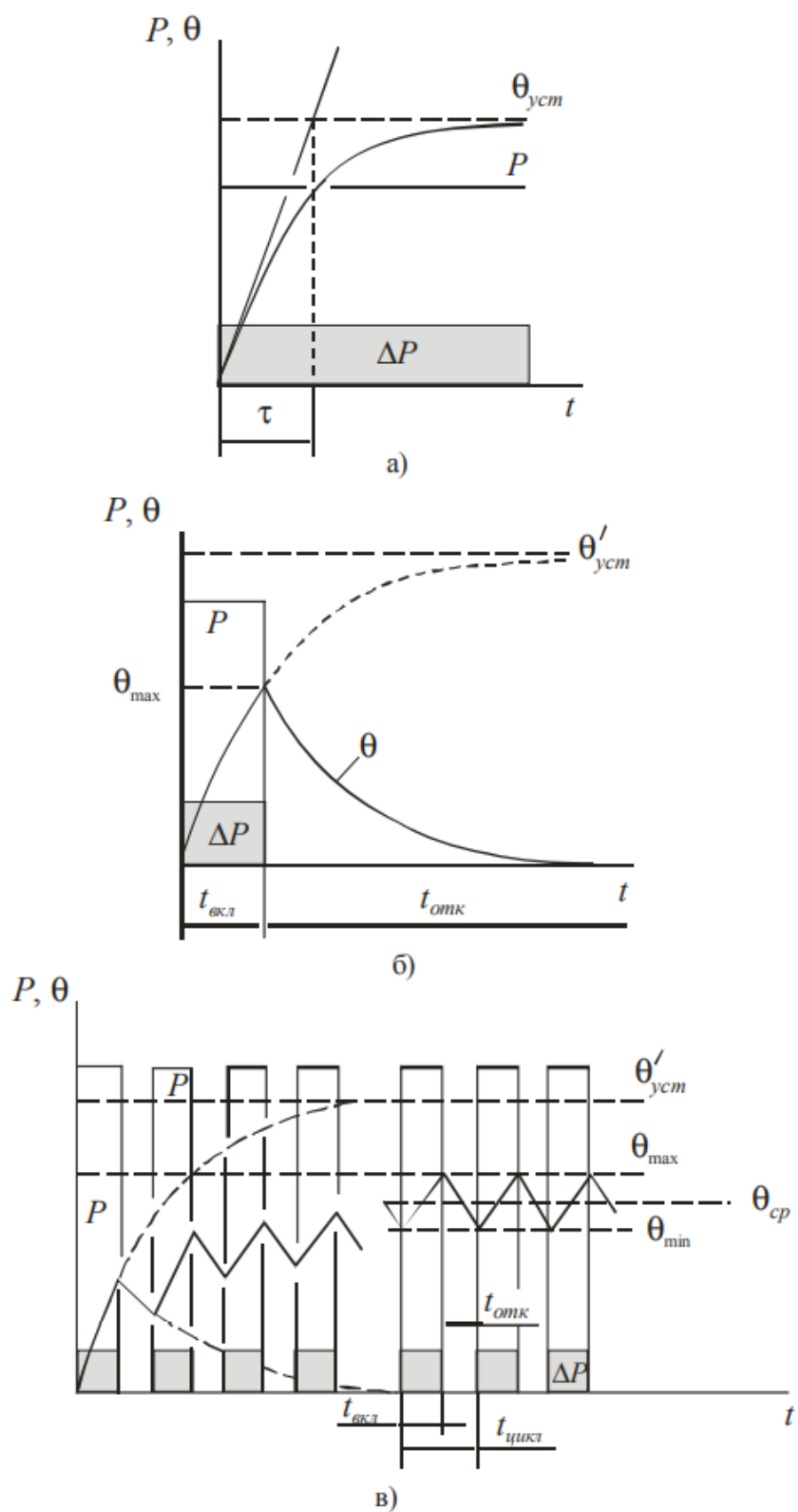
Если перерывы в работе менее продолжительны, а электрооборудование остается подключенным к сети, такой режим работы, с большой долей вероятности, можно отнести к ПКР (повторно-кратковременному режиму). В данном случае температура, которую достигает работающий элемент сети в течение случайного отрезка времени можно считать средней стационарной величиной.

Продолжительный режим работы (ПР) характеризуется нагреванием оборудования в процессе работы до установленной температуры и отсутствием перерывов в ходе технологического процесса, либо наличием перерывов, но в процессе которых оборудование не успевает остывать до температуры окружающей среды.

Вышеописанное наглядно представлено в виде графиков на рисунке 6.

«Режим энергосистемы - это некоторое состояние, которое определяется значениями параметров режима: мощности, напряжения, токи, частота и другие физические величины, характеризующие процесс преобразования, передачи и распределения электрической энергии». [19]

Обычно считают, что режим энергосистемы определён, если значения всех параметров режима известны [42] и определены для всех элементов энергосистемы. Как пример, напряжение на зажимах генератора, характеризует так же его величину в соответствующей узловой точке; потоки мощности по концам ЛЭП характеризуют режим работы ветви



«Рисунокб – Графики основных режимов работы электроприемников: а – продолжительный; б – кратковременный; в – повторно-кратковременный  
 $\theta_{уст}'$  – предполагаемое установившееся значение температуры» [6]



## 2.1 Структура построения электрической сети предприятия

Энергоснабжение компании Тольяттикаучук устроено следующим образом: основной ввод происходит от 4 «главных понизительных подстанций открытых распределительных устройств (ОРУ) 110/6 кВ, питающих распределительные подстанции (РП) 6 кВ, которые» [6] расположены на территории завода. РП далее распределяют поступившую электроэнергию между распределительными пунктами в цехах. Таким образом комплектные трансформаторные подстанции (КТП) низкого напряжения, которые и питают цеха Тольяттикаучук, запитываются от подстанций 6 кВ. Последние получают питание, в свою очередь, от главных понизительных подстанций (ГПП 1-3) 110 кВ.

В цехах ООО «Тольяттикаучук» (впоследствии ООО «Тольяттикаучук») налажены следующие виды выпуска продукции:

- бутилкаучук в объеме 75 тыс. т/год;
- бутадиен в объеме 80 тыс. т/год и высокооктановая добавка к бензину в объеме 39,2 тыс. т/год;
- изопрен в объеме 90 тыс. т/год;
- изопреновые каучуки в объеме 82 тыс. т/год;
- изобутилен-изобутановая фракция в объеме 165 тыс. т/год и изобутилен в объеме 60 тыс. т/год;
- сополимерные каучуки в объеме 60 тыс. т/год.

«Также в состав предприятия входят товарно-сырьевой цех и цех электроавтоматики и измерений» [6].

Принципиальное устройство и основные узлы энергосистемы Тольяттикаучук показано на рисунке 7.

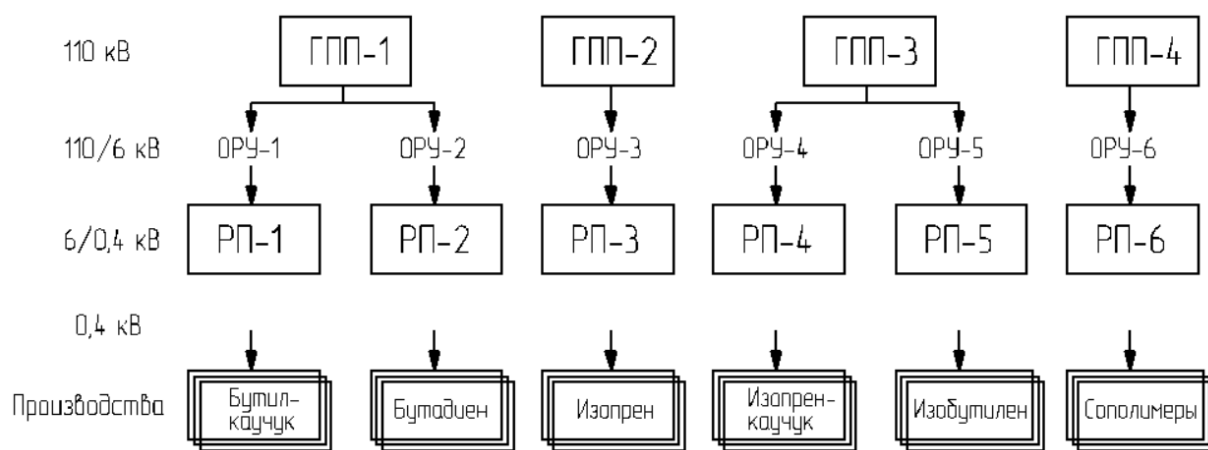


Рисунок 7 – Основные узлы энергосистемы Тольяттикаучук

Представленные узлы энергосистемы образуют питающую сеть предприятия. В данном случае ключевое значение имеет обеспечение бесперебойного электроснабжения потребителей для соблюдения соответствующей категории надежности и качества электрической энергии.

Далее выстраивается схема распределения электрической энергии, конструктивное исполнение которой варьируется исходя из категории надежности потребителей электрической энергии, характера нагрузки, расположения потребителей и центра нагрузок относительно источника питания. Критерии построения схемы основываются на принципах безопасности, удобства эксплуатации, надежности и экономичности. Также необходимо учитывать характер рабочей среды и наличие огне- и взрывоопасных факторов, чтобы оснастить сети соответствующей защитой и предотвратить возникновение чрезвычайных ситуаций на этой почве.

Схемы отличаются по типу построения и количеству источников питания. Разберем преимущества и недостатки по первому классификационному признаку. [54]

Магистральная схема предполагает подключение потребителей от общей питающей линии, то есть характер нагрузки должен обеспечивать возможность последовательного присоединения. Целесообразно применять

такую схему на предприятиях с большой энергетической емкостью, где имеет место частая замена электрооборудования.

Такие схемы выполняются шинопроводами и могут обеспечивать любую категорию надежности. К распределительному устройству общей сети магистрали могут подключаться посредством автоматического выключателя, как представлено на рисунке 8 или глухим соединением, как представлено на рисунке 9.

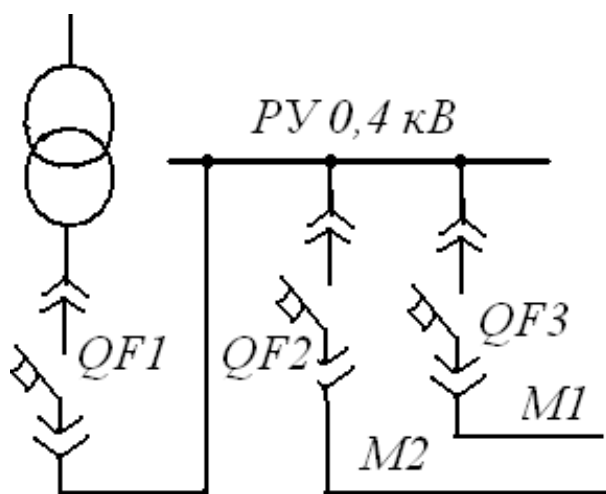


Рисунок 8—Схема подключения магистралей к шинам ТП через автоматические выключатели

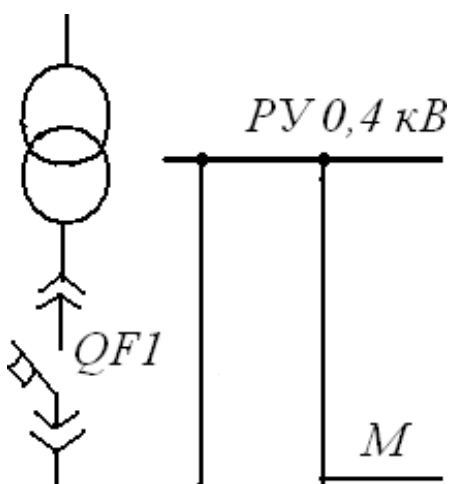


Рисунок 9—Глухое подключение к шинам ТП

Данная схема отличается высокой надежностью, допускает возможность резервирования сети. Схема магистрального типа, позволяющая подключать потребителей по 2 категории представлена на рисунке 10.

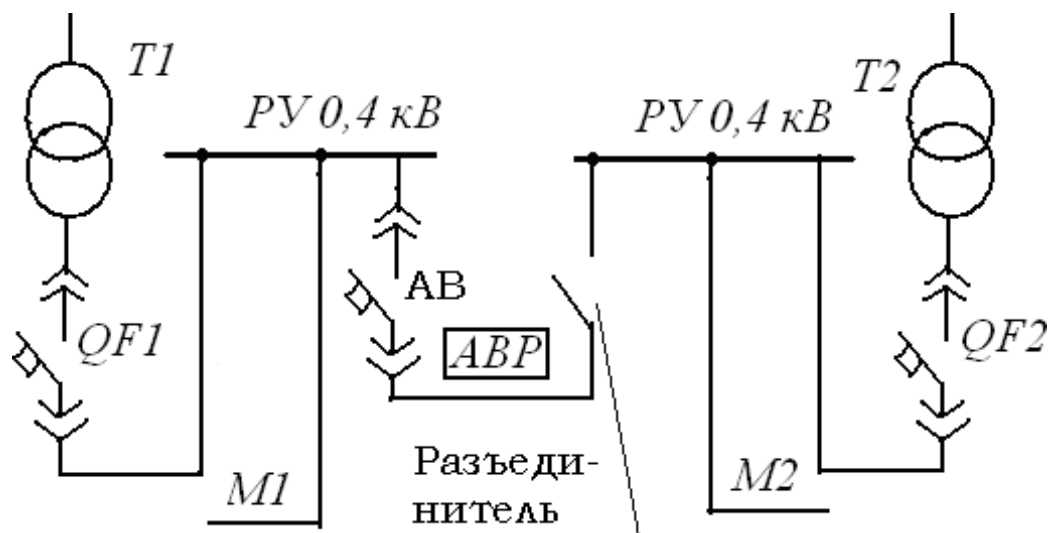


Рисунок 10 – Присоединение магистралей от двух трансформаторов

Для присоединения особо ответственных потребителей допускается использование схемы, представленной на рисунке 11, где каждый из потребителей 1 категории подключается по двум магистральям.

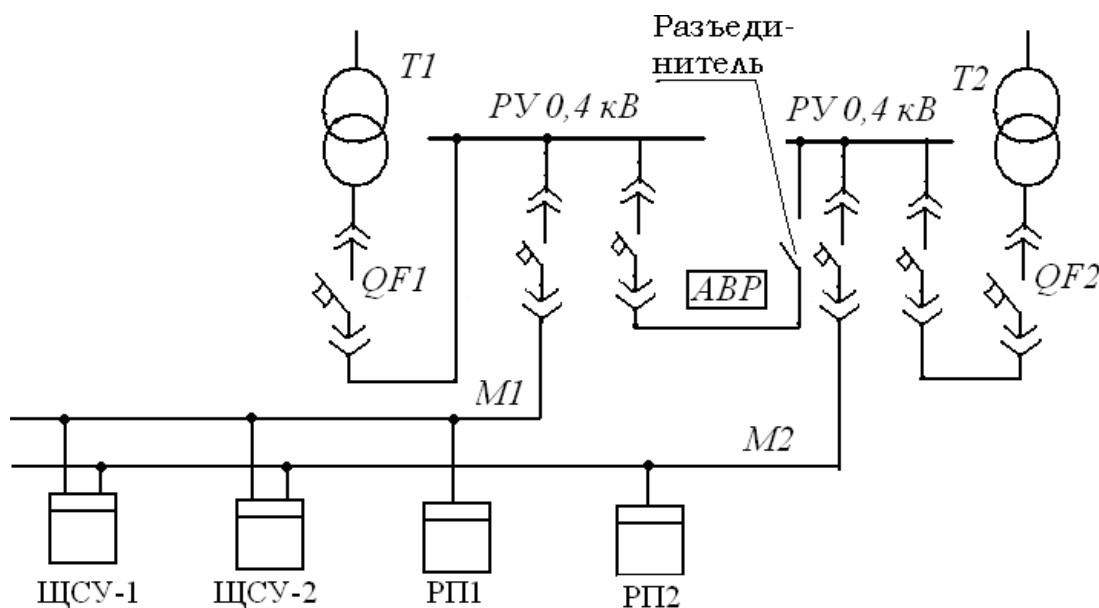


Рисунок 11 – Схема питания потребителей 1-й категории

Шинопроводы, применяемые для построения магистральной сети устойчивы к непродолжительным перегрузкам. В случаях необходимости прокладки магистрали в помещении с агрессивной средой, допускается кабельное исполнение (рисунок 12).

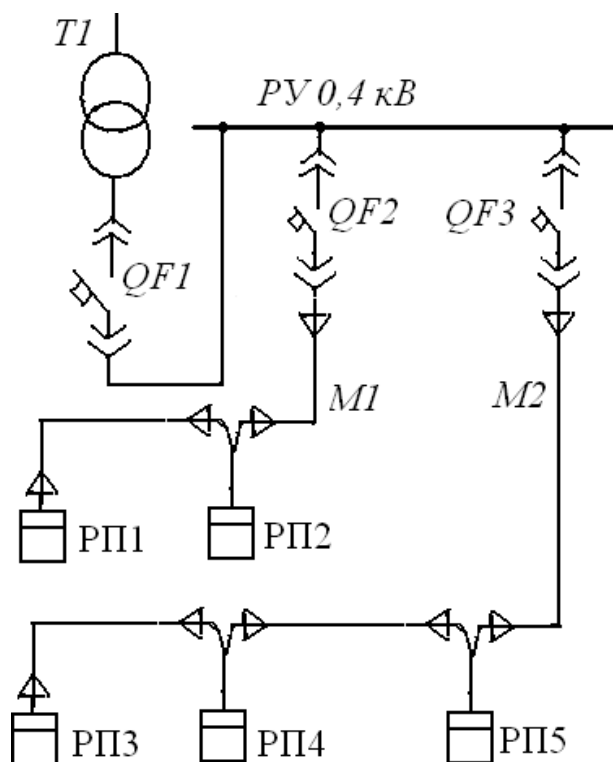


Рисунок 12 – Пример кабельной магистрали

Стоит отметить, что магистральные сети не отличаются высокой надежностью, т.к. в случае аварии отключается большое число даже не поврежденного оборудования.

Радиальное построение схемы электроснабжения подразумевает индивидуальное подключения преимущественно мощных потребителей. Особенно актуален данный вариант при отсутствии очевидного центра нагрузки и неравномерном распределении установок по мощности. В помещениях с особыми условиями (взрыво- и пожароопасные) также применяются преимущественно радиальные схемы. Присоединения осуществляются, как правило, кабельными линиями. Пример схемы представлен на рисунке 13.

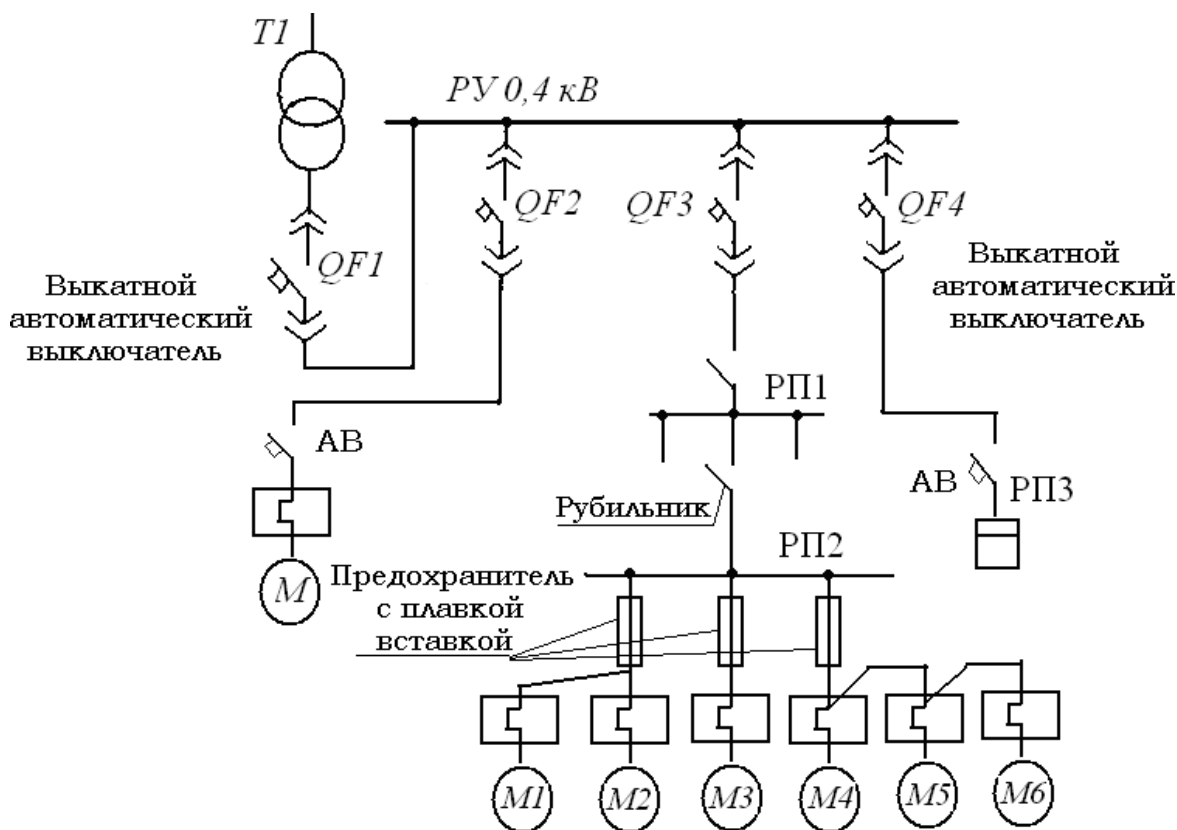


Рисунок 13 – Пример радиальной схемы

Питание в таких сетях может быть одноступенчатым (присоединение напрямую к подстанции) и двухступенчатым (присоединение опосредовано через РП). Распределительные пункты радиальных схем рассредоточены в непосредственной близости от групп электроустановок.

Такое построение сети более адаптировано для ответственных потребителей и отличается высокими показателями надежности и удобством внедрения автоматизированной системы. Помимо упомянутого, существует недостаток, заключающийся в большом расходе проводников и необходимости установки дополнительного распределительного оборудования.

Смешанные схемы представляют собой совокупность как магистральных, так и радиальных схем. Основное питание выполняется радиально, а резервная линия – не что иное, как общая магистраль. Пример схемы приведен на рисунке 14. [52]

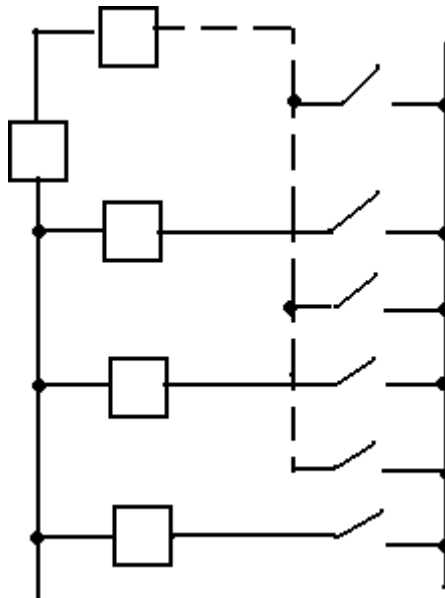


Рисунок 14 – Пример магистральной схемы

Такие схемы бывают двух видов: замкнутые и разомкнутые. Вторые применяются существенно чаще, ввиду простоты контроля токов короткого замыкания и автономной работы секций шин. Тем не менее, замкнутые схемы предпочтительнее для более мощных установок за счет сниженного уровня падения напряжения, меньшим потерям и высоким показателям надежности. Этот факт имеет решающее значение при присоединении к сети двигательной нагрузки, так как возникшее из-за пуска мощного двигателя падение напряжения в сети сделает невозможным включение асинхронных двигателей, подключенных к той же сети.

Характер нагрузки и уровень ответственности потребителей на химическом производстве определяет необходимость применения преимущественно радиальных схем с возможностью включения резерва.

## **2.2 Оценка эффективности работы электрической сети с двигательной нагрузкой**

Как было сказано ранее, оборудование в цехах Тольяттикаучук производит выделение из бутилен-, изобутилен-, и

изопренсодержащих отходов полимеры высокой чистоты, а также высокоактивные химические соединения и высокооктановые добавки к бензину. «Из этих условий следует то, что цеха Тольяттикаучук является взрывоопасными, а все (или подавляющее большинство) потребители электроэнергии цехов Тольяттикаучук относятся к I категории надежности электроснабжения потребителя» [21].

«На все электродвигатели (ЭД) должны быть установлены устройства защиты, которые должны исполнять роль мониторов токов двигателя (МТД)» [6]. «Они предназначены для мониторинга и защиты ЭД от недопустимых перегрузок асинхронных двигателей. МТД позволяет выставить время срабатывания и реагирует на:

- недопустимые по продолжительности перегрузки;
- превышение тока номинального;
- обрыв фазы по току или недогрузку по току» [10].

Насосы и вентиляторы на производстве работают в длительном режиме и в зависимости от технологий коэффициент мощности равен примерно 0,8, тогда как коэффициент использования 0,7. Вентиляторы и насосы имеют мощность от 12 до 120 кВт. Их режим работы продолжительный, а их  $\cos \varphi = 0,7..0,87$ , их коэффициент использования 0,6..0,7.

«Все двигатели являются асинхронными с короткозамкнутым ротором и особых проблем с самозапуском при переключении секционного выключателя не имеют. [51] Однако эти двигатели подключены к сети с помощью контакторов или магнитных пускателей, которые удерживаются во включенном состоянии благодаря напряжению сети» [6].

Асинхронные двигатели имеют низкий  $\cos \varphi = 0,5..0,7$ . Мощности двигателей от 12 до 550 кВт. Работают двигатели в длительном режиме, отдельные наладочные агрегаты работают в режиме кратковременном. Осветительные установки цехов при этом выполнены по системе комбинированного цехового освещения. Светильники имеют однофазную нагрузку и сгруппированы так, чтобы равномерно распределить её по фазам.



Характер этой нагрузки продолжительный,  $\cos=0,95$ . Длительный перерыв питания светильников приводит к тому, что нарушается нормальная деятельность предприятия. [53]

Для асинхронного двигателя нормальным режимом считается продолжительная работа при равномерной нагрузке, которая позволяет двигателю планомерно охлаждаться и поддерживает установившуюся температуру в течение работы. Данная классификация режима обозначается для удобства S1.

По продолжительности и характеру работы, а также интенсивности нагрева выделяется еще 7 режимов:

- Кратковременный (S2) - охлаждение за счет окружающей среды при перерыве в работе;
- Повторно-кратковременный (S3) - незначительные переходные процессы при пуске, цикл продолжительнее;
- Повторно-кратковременный (S4) - время пуска превышает время цикла, что сказывается на нагреве;
- Торможение (S5) - электрическое торможение при завершении цикла;
- Перемежающийся режим (S6) - повторно-кратковременный режим S3 с возможностью реверса и изменения скорости вращения;
- Перемежающийся режим (S7) - повторно-кратковременный режим S4 с возможностью реверса и изменения скорости вращения;
- Перемежающийся режим (S8) - аналогичен перемежающемуся режиму S7 с возможностью регулирования нагрузки на валу.

На работе таких электроприемников, как асинхронные двигатели, существенно сказывается качество электрической энергии. Рассмотрим влияние отдельных показателей качества подробнее. [50]

Отклонение напряжения.

Данный показатель определяет вид механической характеристики асинхронного двигателя, ввиду ее квадратичной зависимости от напряжения.

Падение уровня напряжения провоцирует снижение момента и частоты вращения, что предполагает рост скольжения, график изменения представлен на рисунке 15, M1 - характеристика в обычном режиме, M2 - при снижении напряжения.

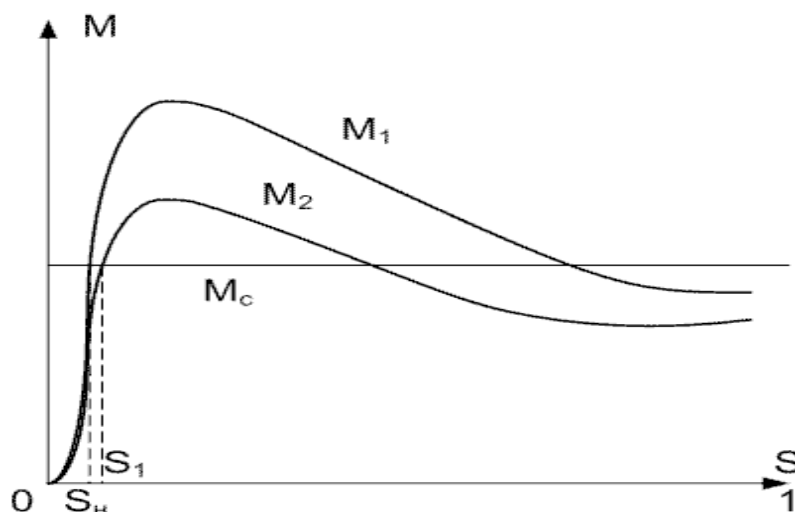


Рисунок 15 - Механическая характеристика асинхронного двигателя

«Отношение частоты вращения ротора и напряжения выражается формулой15:

$$n = n_c (1 - k_3 U_{ном}^2 S_{ном} / U^2), \quad (15)$$

где  $n_c$  – синхронная частота вращения;

$k_3$  – коэффициент загрузки двигателя;

$U_{ном}$ ,  $S_{ном}$  – номинальные значения напряжения и скольжения.

Согласно формуле» [6], понижение напряжения не будет сказываться на работе двигателя существенно при его небольшой загрузке. А в случае значительной нагрузки необратимо происходит снижение частоты вращения. Таким образом, очевидна необходимость в поддержании номинального напряжения на выводах двигателя для поддержания производительности его работы и избежание его внезапного опрокидывания и остановки. Более того,

если оставить данный момент без внимания и оставить двигатель в работе, велик риск его выхода из строя или повреждения.

Со стороны производительности работы важен также факт соотношения активной и реактивной мощности от входного напряжения. Как известно, возрастание реактивной мощности, спровоцированное падением напряжения, приводит к возникновению перегрузок, ведущих к нагреву изоляции. При длительном течении такого режима может произойти досрочный выход оборудования из строя, исходя из этого, можно определить срок службы изоляции по формуле 16.

$$T = T_{ном} / R \quad (16)$$

«где  $T_{ном}$  – срок службы изоляции двигателя при номинальном напряжении и номинальной нагрузке;

$R$  – коэффициент, зависящий от значения и знака отклонения напряжения, а также от коэффициента загрузки двигателя.

Таким образом, при снижении напряжения значительно возрастает реактивная мощность, а в обратном случае происходит возрастание потерь активной мощности» [21].

Колебания напряжения

Со стороны асинхронных двигателей данное отклонение, в случае превышения показателей более, чем на 15% приведёт к нарушению нормальной работы оборудования такого типа.

Несимметрия напряжения

Первопричиной возникновения данного явления заключается в наличие несимметричной нагрузки. Воздействует на потребителя как локально, так и глобально. В первом случае страдает система режима напряжения потребителей, а во втором происходит снижение надежности схемы электроснабжения.

Действие данного показателя оказывает значительное влияние на асинхронные двигатели, так как возникновение несимметрии приводит к интеркуррентному нагреву статора и ротора за счет протекания токов обратной последовательности. В свою очередь, нагрев влияет на срок службы двигателей, сокращая его в 2 раза и снижает эффективность двигателя относительно проценту несимметрии.

#### Несинусоидальность напряжения

Возникает показатель при наличии электроприемников с нелинейными характеристиками, провоцирующих возникновение токов высших гармоник, создающих падения напряжения и искажения напряжения.

Относительно асинхронных двигателей, высшие гармоники могут создавать паразитные поля, оказывающие влияние на механические характеристики и коэффициент полезного действия двигателя.

### **2.3 Выявление проблем электрической сети с двигательной нагрузкой**

«Если двигатель или группа двигателей питается от генератора или группы генераторов, заменённых эквивалентным генератором соизмеримой мощности, то напряжение на шинах двигателя зависит от режима двигателя (от его скольжения) В этом случае качественные изменения условий устойчивости или «опрокидывания» обусловлены изменением количества двигателей, подключённых к узлу нагрузки» [25]. «В принятой постановке задачи вся масса двигателей (эквивалентный двигатель), входящих в нагрузку, должна рассматриваться как единое целое, причём и параметры этих двигателей, и их рабочие режимы известны очень приближённо» [30].

«В электрической схеме системы (рисунок 16, а) рассматриваемой в [33], сопротивление генератора  $x_G$ , сети  $x_C$  и эквивалентного двигателя, который заменяет все двигатели нагрузки  $x_8$ , соизмеримы по величине. Схема замещения представляется так, как это показано на рисунке 16, б.

Затем приближённо упрощается посредством переноса  $x^{\wedge}$  в точку 1, к месту приложения э.д.с.  $E$  (рисунок 16, в)» [31].

Ток, обусловленный ЭДС в цепи 1-2 (рисунок 16, в):

$$I = \frac{E}{\sqrt{x^2 - \left(\frac{R}{s}\right)^2}}, \quad (17)$$

где  $x = x_2 + x_c + x_s$ .

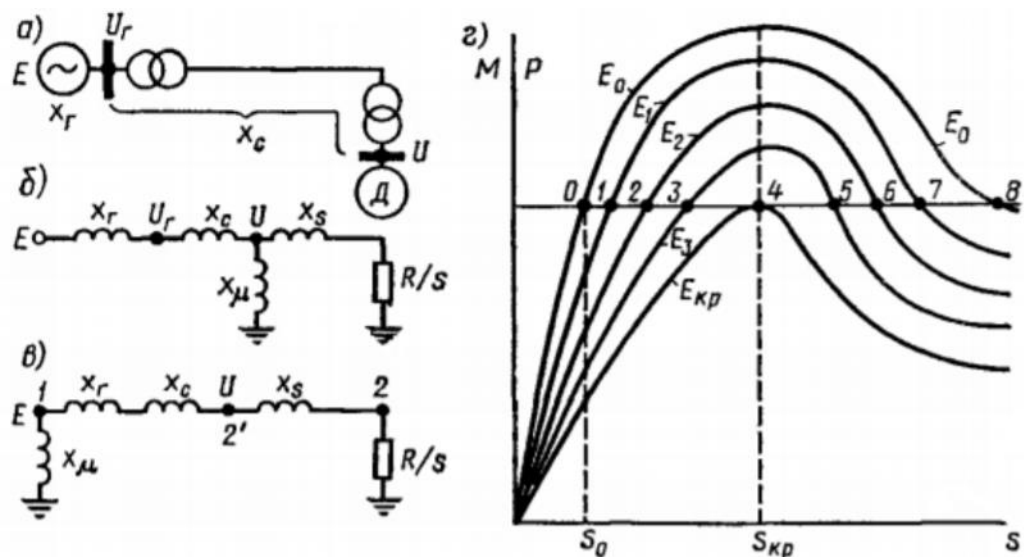
«Далее в [31] выдвигается теория, что механический момент сопротивления асинхронных двигателей, обозначаемый  $M_{MEX}$ , не зависит от угловой скорости ротора двигателя, а также предполагается, что в относительных единицах он ориентировочно равен потребляемой из сети мощности  $P$ » [35]:

$$M_{MEX} = M \approx P / (\omega_0 + \Delta\omega), \quad (18)$$

где  $\omega_0 = 1$ ,  $\Delta\omega \ll \omega_0$ .

Далее в [38] происходят следующие преобразования:

$$M \approx P = I^2 R/s = E^2 R s / [(x s)^2 + R^2] = const \quad (19)$$



«Рисунок 16 – Схема замещения системы: а - схема системы; б - схема замещения; в - упрощенная схема замещения; г – характеристики

$$M=P = f (E_{r}, s)(20)$$

Характеристики  $P = f (E_{r}, s)$  построены на рисунке 16, г, где значение критического значения скольжения двигателя определяется из условия» [6]:

$$dP/ds= 0 \tag{21}$$

Дифференцируя и приравнявая к нулю (21), в [22] получаем:

$$E^2 R(R^2 - x^2 s_{kp}^2) / [(x s_{kp})^2 + R^2]^2 = 0 \tag{22}$$

откуда  $s_{kp} = R/x$ .

Подставляя полученное значение  $s_{kp}$  в (22), в находим значение  $P_m$ , отвечающее  $s_{kp}$ :

$$P_m = E^2 / 2x \tag{23}$$

«Напряжение на шинпроводах нагрузки группы асинхронных двигателей, как отмечается в [37], не остаётся постоянным при изменении режима» [34] работы электродвигателей:

$$U = \sqrt{x_s s^2 + \left(\frac{R}{s}\right)^2} = E \frac{\sqrt{x_s s^2 + \left(\frac{R}{s}\right)^2}}{\sqrt{x s^2 + \left(\frac{R}{s}\right)^2}} \quad (24)$$

Реактивная мощность, которая потребляется двигателями и сетью в ЭТОТ МОМЕНТ:

$$Q = O_\mu + O_s \quad (25)$$

где  $Q_\mu = E^2 / x_\mu$  – мощность, которую потребляет ветвь намагничивания.

Ветви 1-2 мощность

$$O_s = I^2 x = [I^2 R s / R s] x = P(s/R) x = P s / s_{кр} \quad (26)$$

«Таким образом,  $O_s = s$  (при  $P = \text{const}$ ,  $s_{кр} = \text{const}$ ). Пользуясь характеристиками, показанными на рисунке 17, г, можно установить характер зависимости» [6] величины расчетного скольжения.

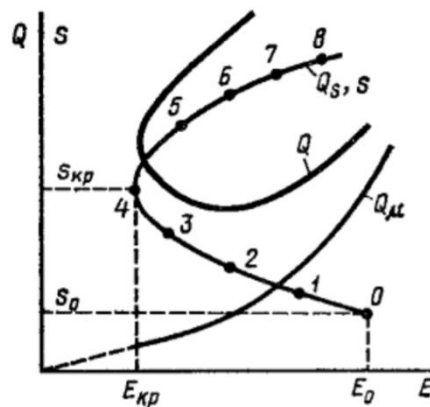


Рисунок 17 – Изменение скольжения  $s$  и реактивной мощности  $Q$  при изменении ЭДС в схеме, представленной на рисунке 16

По представленным графикам изменений на рисунке 16 можно сделать вывод, что нарушение устойчивости асинхронных двигателей может возникнуть даже при, казалось бы, незначительном изменении параметров скольжения и уменьшении ЭДС. [36]

Таким образом, можно выделить ряд проблем, присущих асинхронным двигателям, а значит и энергосетям, в которых содержатся такие двигатели, то есть сетям с двигательной нагрузкой. Проблемы с асинхронными двигателями:

Все типы АД имеют распространенные проблемы:

- грязные, сухие, клейкие, или изношенные подшипники.
- открытые обмотки катушки.
- короткое замыкание обмотки катушки.
- чрезмерные энергопотери мощности от перегрева, дым, огонь, или сработал выключатель защиты от перегрузки и т.д.

«Таким образом для гарантированной и полноценной работы техники требуется проводить регулярный сервисный ремонт асинхронных электродвигателей» [30].

Если любой из вышеперечисленных недостатков присутствует в АД, двигатель будет необходимо полностью заменить (или перемотать обмотки) ввиду того, что такой двигатель может вызывать указанные выше проблемы: лавины напряжения, просадки токов, дефицит реактивной мощности сети и т.п., что приведёт к ненормальному функционированию всей сети, а значит и нарушению электроснабжения

## **2.4 Сравнение режимов работы энергосети предприятия с учётом внедрения АВР и без**

Любые нарушения электроснабжения приводят к простоям сложного технологического оборудования, потери составляют десятки и сотни миллионов рублей ежегодно. Для бесперебойности электроснабжения каждая



трансформаторная подстанция 35/6/0,4 кВ оборудуется устройствами АВР (автоматического ввода резерва), срабатывающими в случае аварии. На крупных предприятиях установлены тысячи таких устройств. Однако иногда это не обеспечивает непрерывности производства, так как время работы обычного АВР составляет 0,5 - 5 сек., а отключение технологических линий происходит при прерывании электроснабжения в течение 0,06...0,08 сек [30].

«Система АВР — это оборудование для автоматического ввода резерва. Такое устройство при нарушении параметров тока в основной сети самостоятельно производит переключение нагрузки на резервный ввод. При этом в качестве резервного источника может выступать другая линия электропередач, бензиновый генератор или ДГУ, аккумулятор и др. [29] В некоторых случаях наличие резервного питания и системы его ввода является обязательным. К примеру, энергопотребители первой категории оснащаются двумя независимыми друг от друга источниками питания. Также существует первая особая категория, где потребители требуют наличия не менее трех взаимно резервирующих источников питания» [40].

Давайте разберёмся, как АВР влияет на функционирование и режимы работы энергосети с двигательной нагрузкой.

Если у нас есть распределительное устройство (РУ), а это может быть РУ-0,4кВ, РУ-3,15 кВ, РУ-6,3 кВ, РУ-10,5кВ, то у этого распределительного устройства есть секции.

Эти секции питают, в свою очередь, всевозможные нагрузки: двигатели синхронные и асинхронные (СД и АД), трансформаторы и трансформаторные подстанции, сборки сварки, освещения и прочие ответственные и не очень ответственные механизмы.

Секций обычно насчитывается от двух до десяти. У каждой секции есть ввод рабочего и резервного питания.

Вариантов схем ввода питания и резерва возможно много вариантов, но существуют стандартные, повторяющиеся от объекта к объекту.

В сетях ООО «Тольяттикаучук преимущественно присутствуют два варианта схем ввода резерва: либо у каждой секции свой ввод рабочего питания и между ними секционный выключатель (неявный резерв), либо

Типовая схема ввода рабочего и резервного питания на предприятии «Тольяттикаучук» с неявным резервом представлена на рисунке 18.

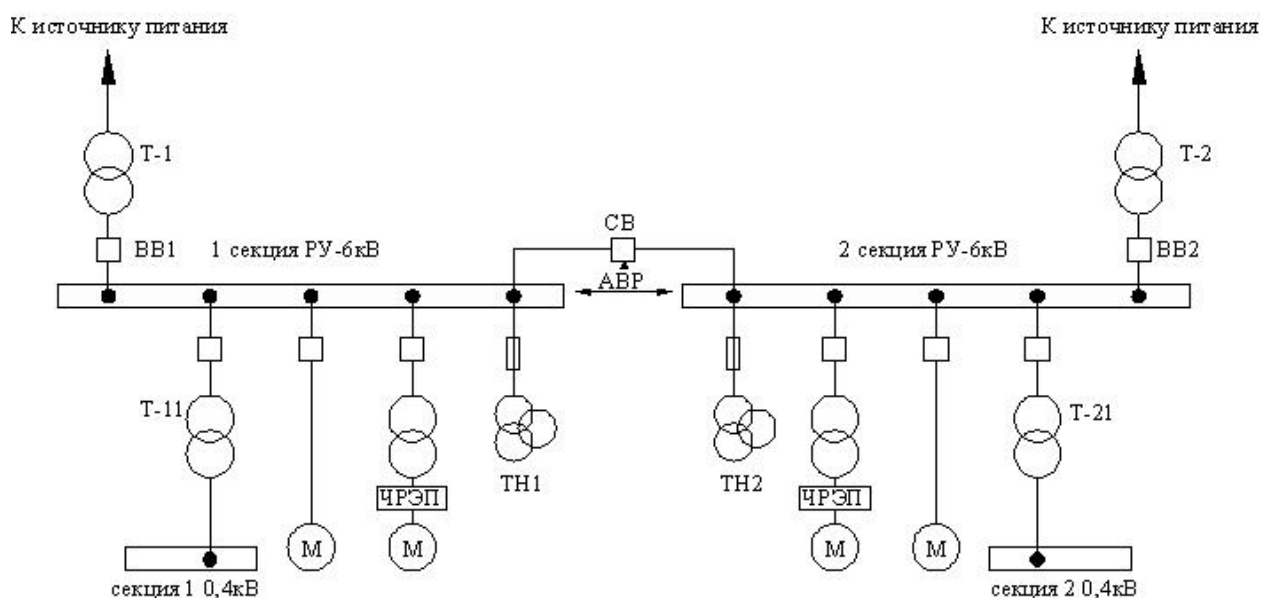


Рисунок 18 – Схема питания секций цеха производства Бутилкаучука с неявным резервом

Здесь «от каждой секции РУ-6 кВ запитаны по одной секции 0,4кВ, по одному двигателю 6кВ, и по одному двигателю 0,4кВ с ЧРЭП через понижающий трансформатор. В данном случае при отключении рабочего ввода одной из секций (ВВ1 и ВВ2) происходит АВР (включение секционного выключателя СВ), и секция запитывается от нагруженной секции до восстановления питания» [4]. По такой же схеме масштабировали сети предприятия с напряжением 110/6 кВ.

Второй распространенный вариант, когда секций больше двух, хотя встречается и на двух секциях, но здесь у каждой секции по рабочему вводу и резервному вводу. Резервные вводы «собираются» вместе и далее следуют к резервному трансформатору собственных нужд (РТСН). Такой вид ввода называется явный резерв [5].

Этот вариант также используют на предприятии «Тольяттикаучук», и его можно встретить на сетях с напряжением 110, 6 и 0,4 кВ (Рисунок 19).

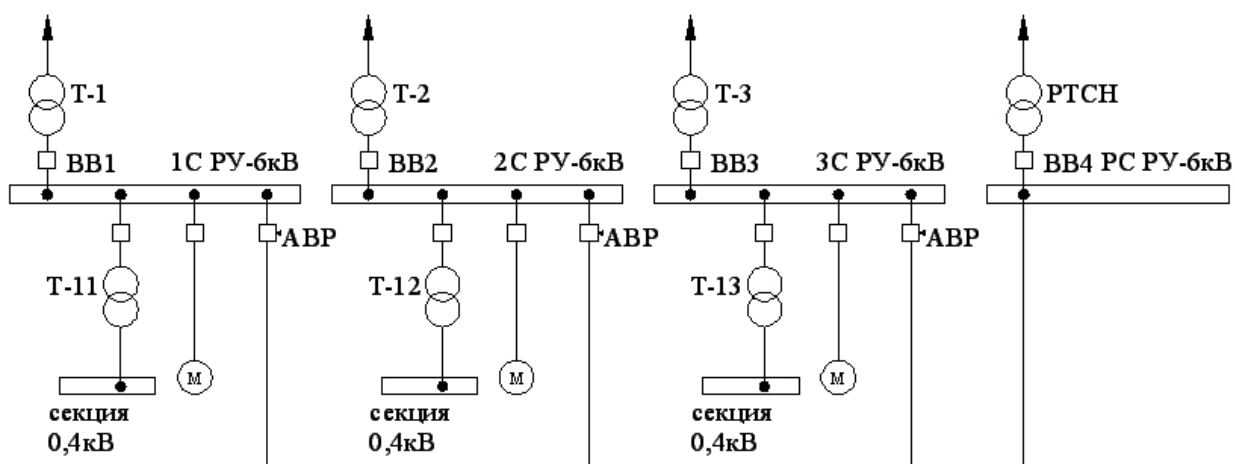


Рисунок 19 – Схема явного резерва

«При исчезновении рабочего питания отключается выключатель рабочего питания и с заданной выдержкой времени включается ввод резервного питания. Под исчезновением рабочего питания понимаю следующее: напряжение на вводе опускается до величины уставки срабатывания органа минимального напряжения и выключатель отключается» [49].

Также уместным будет упомянуть про время перерыва питания. Когда значение напряжения просело до величины уставки - подаётся сигнал на отключение рабочего выключателя (мгновенно), далее происходит отключение рабочего выключателя, после чего срабатывает уставка АВР - включается резервный выключатель.

«Затем, когда питание на отключенном вводе восстанавливается, происходит переход в нормальное положение. Резервный ввод отключается и включается рабочий. Это» [6] происходит вручную либо автоматически.

«АВР необходим, чтобы быстро восстановить электроснабжение при морганиях напряжения, коротких замыканиях, авариях на оборудовании.

Однако, время действия АВР составляет от полсекунды до пары секунд» [8]. Теоретически это может привести, но не обязательно, к следующему:

С точки зрения электрической службы это приводит к:

- отпаданию пускателей 0,4 кВ;
- большим пусковым токам у ЭД;
- зависанию отдельных систем ЧРП.

«Чтобы снизить пусковые токи на мощные электродвигатели ставят системы частотного регулирования, гидромфты, или РЭПы. Причем, чем выше напряжение, тем выше стоимость» [49] ЧРП. Поэтому на станциях подключают двигатели 6 кВ через понижающие трансформаторы 6/0,4 и покупают [15] ЧРП на 0,4 кВ.

Но и тут встречаются казусы, как, например, это произошло с цехов ИП-7.1 (сейчас переименован) ООО «Тольяттикаучук»: предприятие покупает ЧРП, оплачивает услуги по его монтажу, настройке и переналадке сети под новые обстоятельства, после чего оказывается, что к нему надо покупать источник бесперебойного питания, который стоит эквивалентно стоимости ЧРП. А без бесперебойного питания при кратковременном исчезновении питания ЧРП зависает, и результата, ожидаемого от установки этого самого ЧРП, не достигается. Однако, не все частотники (ЧРП) этим грешат, поэтому к выбору частотно регулируемого привода тоже подходят ответственно. [16] Но вернёмся к сетям с АВР и самой сути автоматического ввода резерва.

«Назначение АВР и требования к нему.

Главное назначение устройства АВР заключается в обеспечении бесперебойного питания электроэнергией потребителей. Для этого система АВР должна отслеживать состояние основной линии. И при выявлении нарушений переходить на подачу электроэнергии потребителю от резервного ввода. При этом процесс восстановления электропитания должен происходить максимально быстро. Обязательным условием является однократность выполняемого действия. То есть не должно быть повторных срабатываний в случае одной и той же неисправности (неустраненные токи

короткого замыкания и т.п.) [41]. Еще один важный момент - разрыв основной сети должен происходить до подключения резервной линии. обо всех изменениях устройство АВР должно информировать с помощью индикации параметров» [6].

#### «Принцип работы АВР.

Пользователь задает параметры рабочего напряжения. При любых отклонениях от заданных параметров автоматика дает команду на смену ввода. Таким отклонением от нормы может стать перенапряжение, падение напряжения, обрыв сети, перекос фаз или короткое замыкание [20]. При этом устройство АВР проверяет выполнение целого ряда дополнительных условий. Во-первых, на защищаемом участке не должно быть неустранимых неисправностей. Иначе подключение резерва не имеет смысла и даже может представлять опасность. Во-вторых, основной ввод должен быть включен. Чтобы исключить ситуацию, когда не напряжение на основной линии пропало, а сам ввод был отключен намеренно. В-третьих, проверяется наличие напряжения на резервной линии» [42].

«Если все условия удовлетворяются, устройство АВР размыкает основной ввод. Только после этого подключается резервная линия. Далее принцип работы АВР может развиваться по двум сценариям. Если предполагается наличие двух равноценных вводов, то будет осуществляться питание от резерва. В противном случае произойдет возврат на основной ввод, когда параметры электрического тока на нем восстановятся [47].

#### Компоненты АВР.

С технической точки зрения устройство АВР состоит из логической и коммутационной части. Первая из них отвечает за принятие решений, а вторая выполняет механическую функцию, то есть осуществляет переключение на практике. Но задач у автоматики несколько, поэтому стоит рассмотреть компоненты АВР более детально. На каждом из вводов находятся измерительные органы. В» [6] задачи измерительной части входит постоянный контроль того или иного ввода [43].

Что касается логического контроллера, то он тоже имеет регулировку выдержки срабатывания. К логической части также относится цепь однократности, которая представляет собой двухпозиционное реле. Еще один немаловажный элемент АВР - индикаторная (сигнальная) часть. Она реализуется на основе указательных реле. По сути, это важная составляющая защитной функции АВР, поскольку информирует обо всех изменениях и неисправностях в работе. [45]

«В отношении силовой части стоит сказать, что она может быть собрана на контакторах или автоматических выключателях. В любом случае силовая часть должна полностью исключать возможность одновременного включения обоих вводов [48]. Это возможно только при использовании сразу двух типов блокировки - электронной и механической.

Схема АВР на два ввода» [6].

«Принцип действия АВР на два ввода максимально простой. В нормальном режиме электрический ток подается через первый ввод. В случае нарушений контакт на первом вводе разомкнется, а на втором замкнется. Затем происходит обратный процесс, когда напряжение на основном вводе снова появляется. Особенность данной схемы заключается в том, что всегда существует приоритет первого ввода» [48].

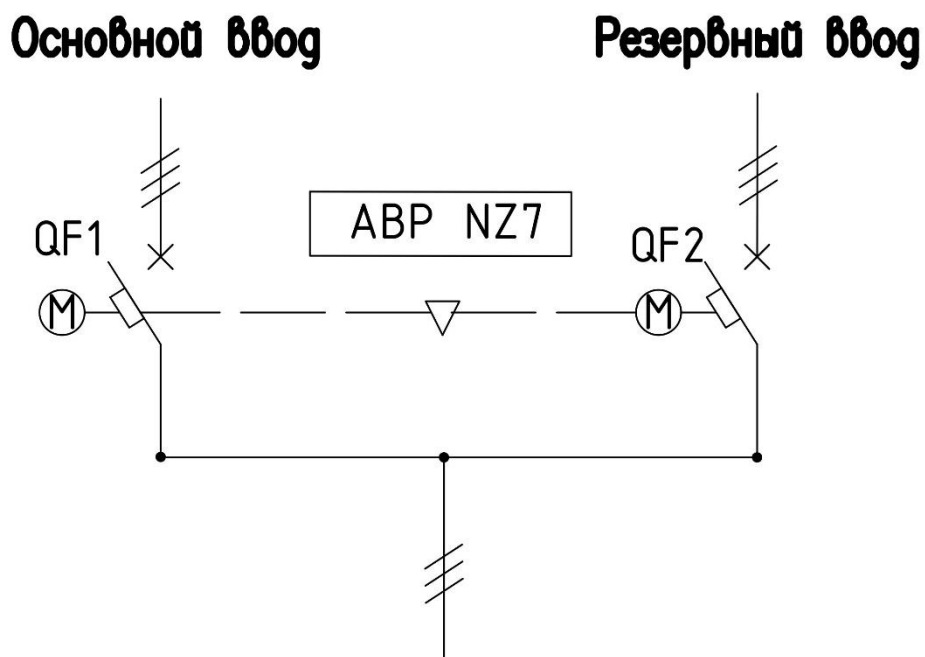


Рисунок 20 – Схема АВР на два ввода

Схема АВР на два ввода с секционированием.

«Используется такая схема в ситуациях, когда питание потребителей распределено между двумя разными вводами. То есть первая секция питается от одного ввода, а вторая от другого» [6]. Особенность состоит в том, что «оба ввода являются равнозначными. В схеме используются два автомата и секционный выключатель. Если на одном из вводов срабатывает автомат, секционный выключатель запитывает обесточенную секцию от другого ввода. С восстановлением нормальной работы каждая секция переходит на питание от своего ввода» [48].

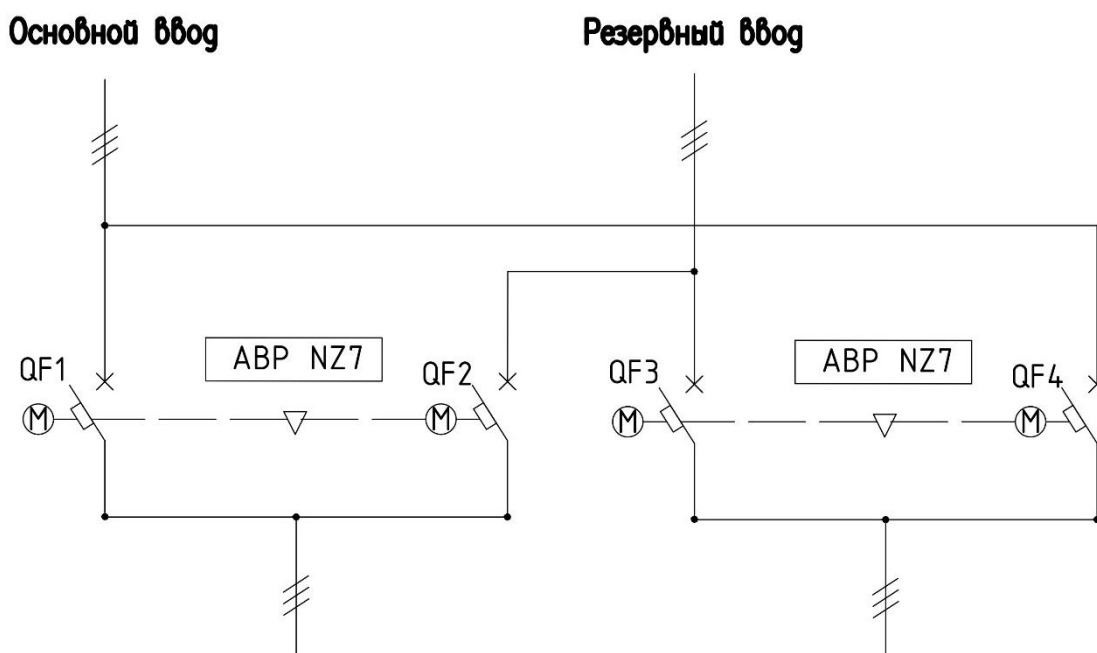


Рисунок 21 - Схема АВР на два ввода с секционированием

Схема АВР на три ввода. Здесь логика работы состоит в том, что «проблемы на основном вводе приводят к переключению на второй ввод. А если и он обесточен, то задействуется третий ввод [48]. При этом реализовать такую схему АВР можно в двух вариантах. Все будет зависеть от того, что используется источниками питания. К примеру, это могут быть два равнозначных ввода и один резервный, если используются две независимые линии и генератор. Или же один основной ввод и два последовательных резерва, если в наличии имеется одна линия и два генератора» [48].

Избежать простоев, вызванных медленным срабатыванием АВР, позволяет инновационное отечественное оборудование – Быстродействующий Автомат Ввода Резерва – БАВР. Именно система БАВР предлагается к внедрению в сети предприятий и рассматривается далее.

Выводы по второму разделу

Первично рассмотрена классификация номинальных режимов работы электроприемников, определяющих временные графики нагрузок и



определены основные режимы, присущие работе асинхронных двигателей с фазным и короткозамкнутым ротором.

Определена структура построения электрической сети предприятия, включающая основные узлы энергосистемы предприятия. Также, рассмотрены варианты построения распределительной сети предприятия, их плюсы, минусы и оптимальные для конкретного объекта решения. Выявлено, что характер нагрузки и уровень ответственности потребителей на химическом производстве определяет необходимость применения преимущественно радиальных схем с возможностью включения резерва.

Произведена оценка эффективности работы электрической сети с двигательной нагрузкой. В первую очередь рассмотрена характеристика работы асинхронных двигателей и отдельные их режимы по и характеру работы, а также интенсивности нагрева. Приведен результат влияния на работу потребителей отклонения, колебания, несимметрии и несинусоидальности напряжения.

Выявлены основные проблемы электрической сети с двигательной нагрузкой, на основании чего, предложено решение, позволяющее максимально эффективно бороться с простоями, спровоцированными возникновением проблем сети с двигательной нагрузкой.

Произведено сравнение режимов работы энергосети предприятия с учётом внедрения АВР и без. Целесообразным решением принято применение системы быстродействующего автоматического ввода резерва (БАВР).

### **3 Стратегия трансформации системы электроснабжения ООО «Тольяттикаучук»**

Для решения проблем простоев для удачного самозапуска двигателей после перебоев с питающей сетью или кратковременными нарушениями ЭДС в сетях с двигательной нагрузкой предлагается использование быстродействующего автоматического ввода резерва (БАВР). Это позволит избежать медленного самозапуска двигателей, а также нарушения синфазности токов на обмотках двигателя.

Исходя из данных, описанных ранее, для энергосетей с двигательной нагрузкой, преобладающих у ООО «Тольяттикаучук», целесообразно использовать схемы системы БАВР с двумя и тремя трансформаторными подстанциями.

Схема двухтрансформаторной подстанции, планируемая к внедрению в сетях с двигательной нагрузкой, представлена на рисунке 22 с двумя трансформаторами и на рисунке 23 с тремя.

В нормальном режиме секции шин 1 и 2 [и 3] питаются от трансформаторов Т1, Т2 и Т3 соответственно, а устройство БАВР не приводится в действие. Но при отклонении напряжения от заданного уставкой БАВР переходит в рабочий режим и отключает вводной выключатель от секции, где произошло падение напряжения и подаёт резервное питание через секционный выключатель.

Сигнал на включение секционного выключателя будет сформирован в следующих случаях:

- произошло обесточивание одного из вводов;
- один из вводных выключателей обесточен при отсутствии запрета БАВР;
- подан сигнал на отключение вводного выключателя.

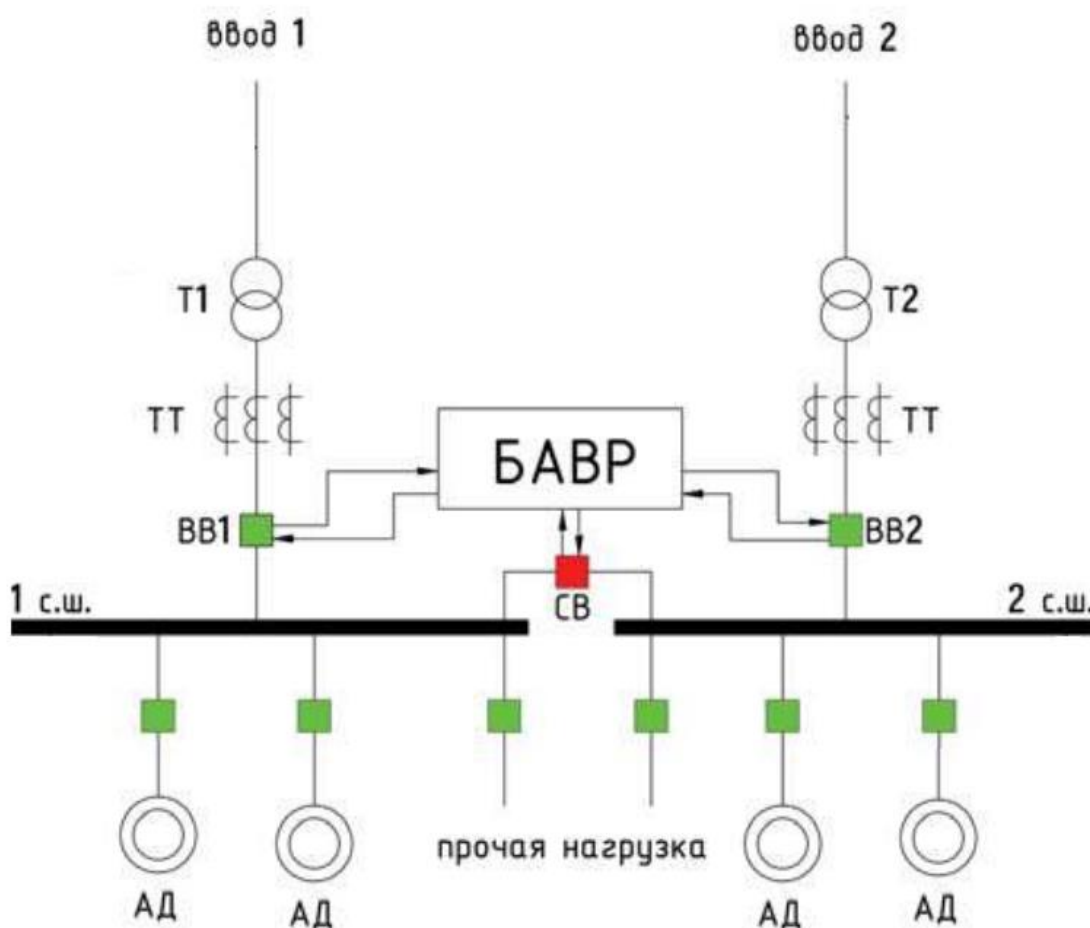


Рисунок 22 – Схема двухтрансформаторной подстанции

Так же БАВР предусматривает подачу напряжения на отключенную секцию при достижении угла сдвига между векторами напряжения секции в 180 градусов. Суть работы блока измерения угла между напряжениями первой и второй секции заключается в подаче сигнала «1» при  $90^\circ$  и 0 в иных случаях. Диаграммы работы блока показаны на рисунке 24.

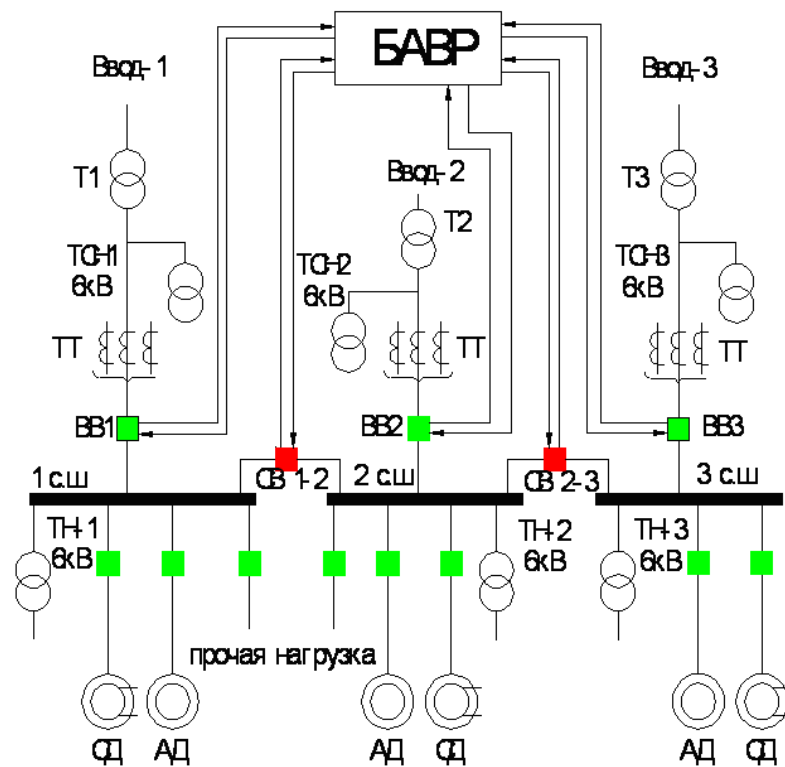


Рисунок 23 – Схема трёхтрансформаторной подстанции

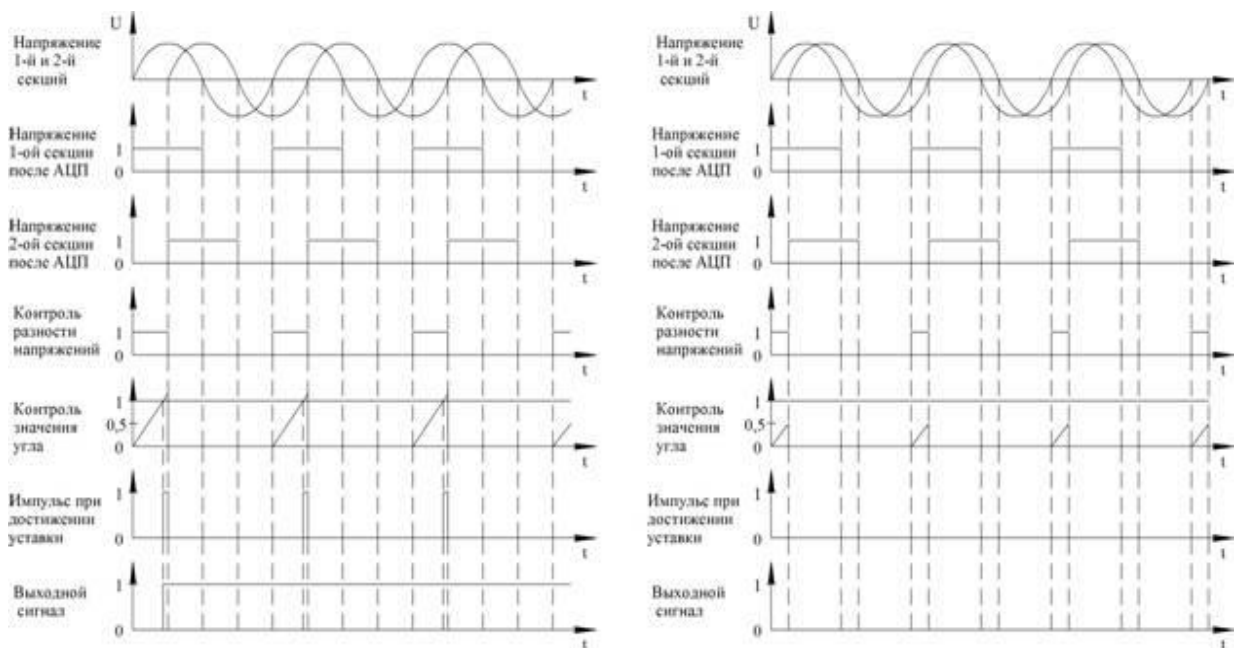


Рисунок 24 – Диаграммы измерения угла между напряжениями секций

Сигнал на включение секционного выключателя блокируется в случае недостижения угла, заложенного в ПО, либо при срабатывании релейной защиты.

«При любом виде КЗ на шинах подстанции или на отходящих от с.ш. линиях присоединений БАВР не работает, поскольку не изменяется направление тока (мощности). Кроме того, в схему работы БАВР заведены следующие блокировки:

- внешним сигналом от устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) на вводе;
- от блока контроля синфазного включения (блок контроля синфазного включения
- контролирует угол между напряжениями прямой последовательности секций шин);
- неисправности трансформатора напряжения (ТН);
- сигнал об отключенном состоянии другого вводного выключателя;
- при одновременном снижении напряжений на 1 и 2 секциях РУ.

Сигнал запрета БАВР так же может формироваться по желанию Заказчика с помощью программной накладки» [7].

Способ автоматического включения резервного электропитания потребителей заключается в измерении значения тока для каждой из трех фаз измеряют значение действующего тока в фазе и значение угла между вектором комплексного действующего тока в этой же фазе и измеряют эти же параметры на резервной стороне шин и после этого подаётся команда на переключение при снижении любого из этих параметров.

Так же учитывается тот факт, что на отключение вводного автоматического выключателя требуется больше времени, чем на включение секционного выключателя обеспечивается контроль синфазности источников питания.

### **3.1 Критерии внедрения БАВР в сеть с двигательной нагрузкой**

Для применения быстродействующего автоматического ввода резерва на рассматриваемом предприятии, система должна соответствовать ряду критериев:

- Готовность к работе вне зависимости от параметров сети и иных вводных;
- Блокирование включения резерва при наличии напряжения на распределительных шинах и при действующем коротком замыкании;
- Не допускается повторное включение резерва во избежание включения при неликвидированном КЗ;
- Уставки релейной защиты должны быть синхронизированы с БАВР чтобы также быстро вывести из работы основной источник питания;
- Минимизация времени отработки комплекса БАВР для сохранения технологического процесса или, в крайнем случае, для обеспечения скорого самозапуска электрических машин;
- При падении напряжения на резервной линии, переключение на нее не допускается;
- Синхронные машины должны вводиться в работу также синхронно, не допустима перегрузка и несогласованная работа оборудования;
- После восстановления основной линии система должна обеспечить обратный переход на нее так же без нарушения технологического процесса.

Многие системы БАВР работают на основе значительного превышения сигнала на разрыв/подключение. В ячейке выключателей расположена конденсаторная батарея, на базе которой работает индукционно-динамическое устройство ускорения. В нормальном режиме оно запасает энергию и по команде БАВР на катушки включения/выключения подаёт повышенное напряжение [18].

За счёт этого собственное время включения/выключения уменьшается в 2 или более раз, однако вся эта процедура приводит к повышенному износу выключателя и уменьшению его ресурса.

«Быстрое переключение является самым рациональным методом переключения для обеспечения малой длительности нарушения

электроснабжения в случае, когда возникла неисправность. В тех случаях, когда статус или режим работы сети не позволяет использование такого метода, выбираются менее быстрые методы переключения» [44].

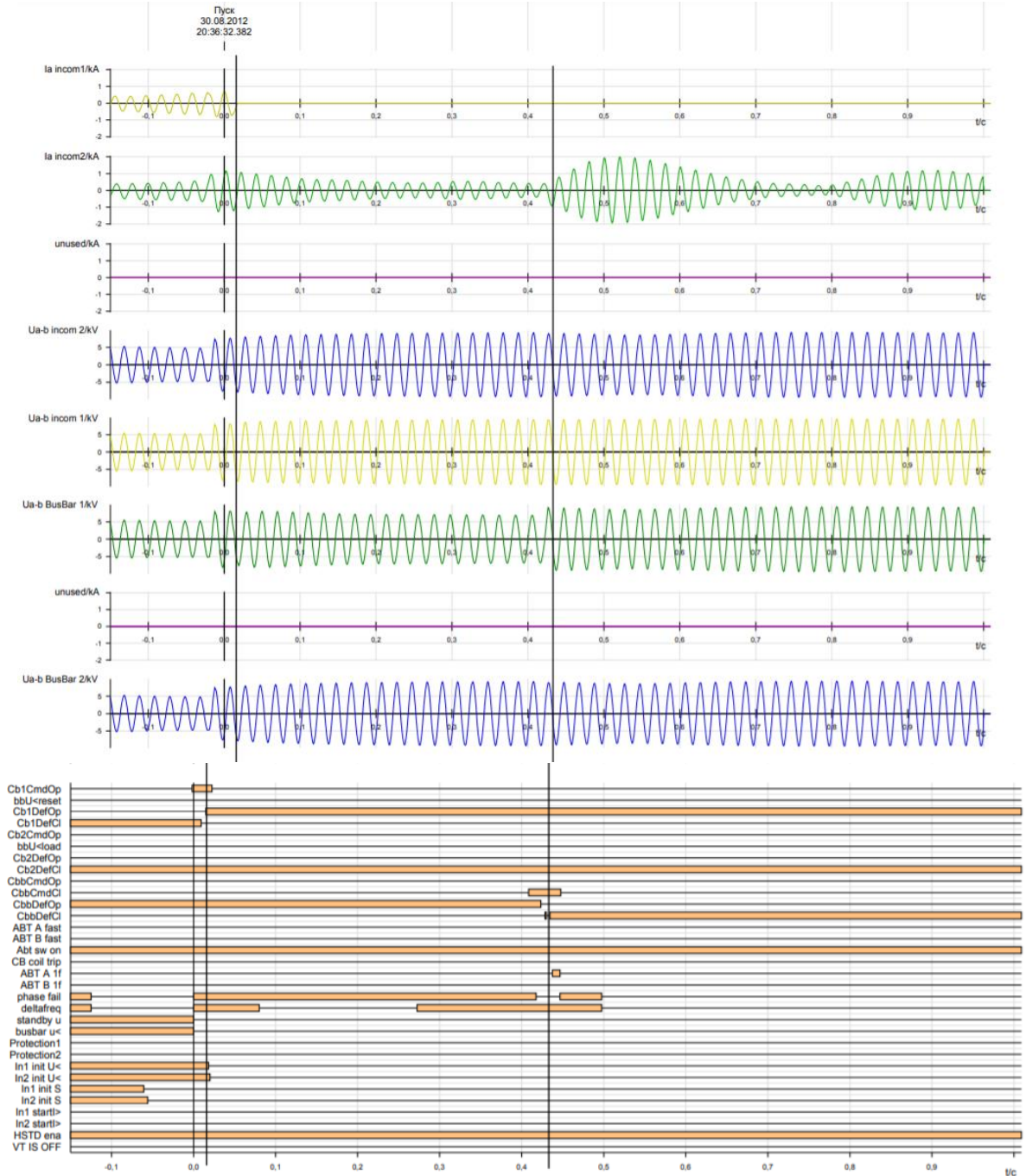


Рисунок 25 – Осциллограмма переключения секций шин АВР и БАВР

Показатели осциллограммы на рисунке 25 отображают величину быстродействия системы по сравнению с классической системой

автоматического ввода резерва. Результаты испытаний показывают, что скорость реакции системы и анализа аварийной системы составляет порядка 12 мс, а полное время переключения на резервный источник с учетом времени замыкания главных цепей составляет от отсчетной точки возникновения короткого замыкания 8 мс. Условия отработки считались выполненными только при условии, что все потребители продолжили функционировать в штатном режиме.

В составе рассматриваемого оборудования, комплекс БАВР имеет целевую функцию обеспечения автоматического переключения на резервный ввод в случае исчезновения напряжения на питающей линии, при этом, не допуская остановки работающего оборудования и нарушения технологического процесса потенциально опасного и энергоемкого производства. Кроме того, при возобновлении функционирования основной питающей линии, посредством комплекса БАВР осуществляется переключение обратно с резервного источника. Отображения и сигнализация о наличии или отсутствии напряжения на основной или резервной линии также прерогатива БАВР.

Скорость срабатывания и надежность микропроцессорного комплекса зависит также от применяемых высоковольтных коммутирующих устройств, то есть их быстродействие тоже существенно влияет на качество отработки БАВР. Вакуумные выключатели, выступающие в их роли, несут функции быстродействующих прерывателей.

Срабатывание устройства БАВР обусловлено возникновением одного из триггеров:

- возникновение короткого замыкания;
- исчезновение напряжения на основном источнике питания.

Комплекс состоит из центрального микропроцессора и вспомогательных устройств, собирающих, обрабатывающих и передающих данные.



Вспомогательные включают в себя: процессоры цифровых сигналов передачи данных, а также микроконтроллеры. Структура взаимодействия вышеуказанных устройств представлена блок схемой на рисунке 26.

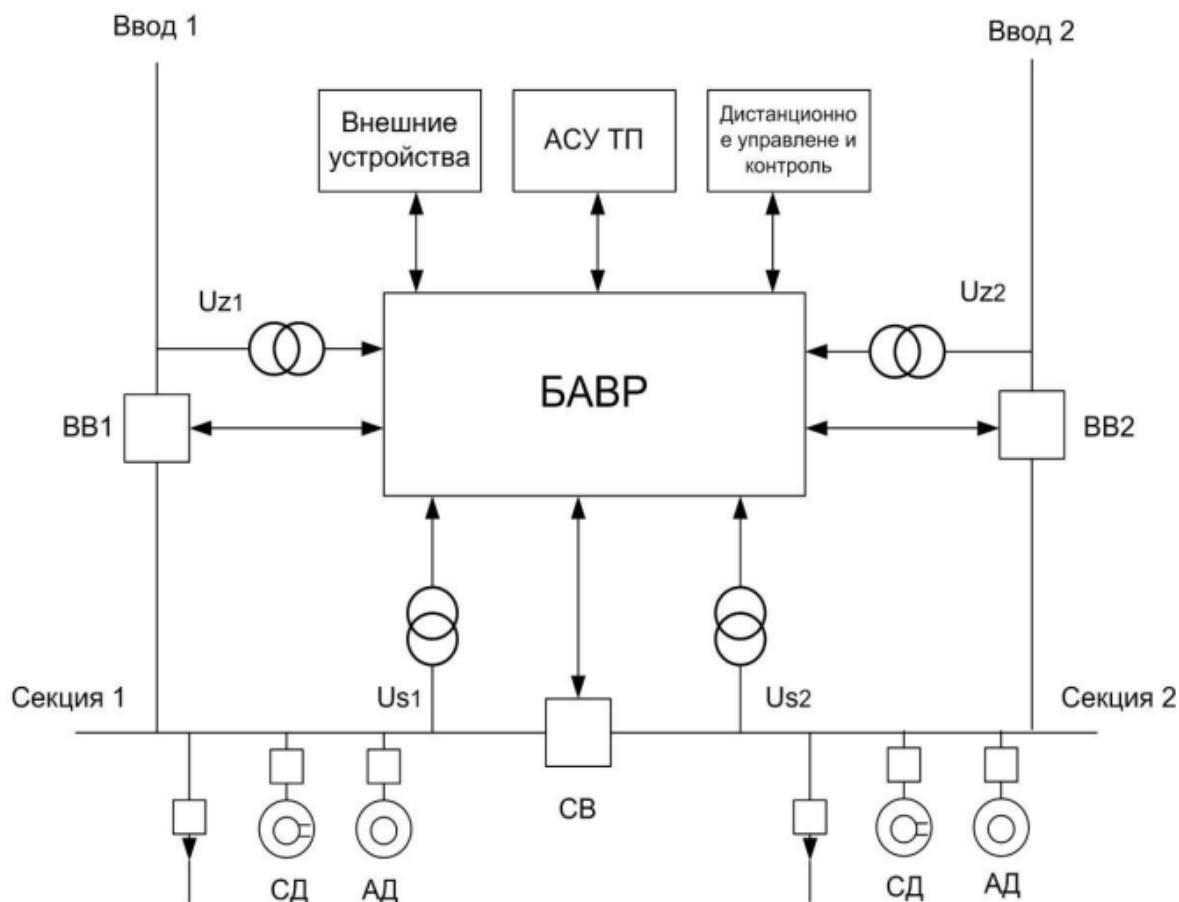


Рисунок 26 – Блок-схема взаимодействия устройств БАВР

В настоящее время многие производители заинтересованы выпуском быстродействующего оборудования для предприятий нефтехимической отрасли ввиду растущего спроса на фоне высоких темпов модернизации и цифровизации электрических сетей. Среди Российских можно выделить: ЗАО «Таврида Электрик»; ООО «НПК Промир»; ЗАО «Натэк»; НПП «Бреслер»; «Электронмаш». Из иностранных производителей у нас наиболее известными и эффективными являются «ABB»; «SchneiderElectric».

### 3.2 Перспективы развития сети предприятия

На встрече с губернатором Самарской области Дмитрием Игоревичем Азаровым генеральный директор ПАО «Татнефть» Наиль Маганов отозвался, что «одним из направлений партнерства может стать участие нефтехимической компании в реализации идеи создания Научно-образовательного центра, который будет претендовать на получение федерального статуса» [32].

«Нефтехимический кластер – один из важнейших в экономике региона и требует научного сопровождения. Здесь бы отдельно отметил многолетнюю и успешную связь предприятия с научными школами ведущих вузов региона, в первую очередь, Самарского Технического университета», – подчеркнул Губернатор Самарской области. Кроме того, Дмитрий Азаров заметил, что немал вклад предприятия в экологической сфере. Как результат – за последние пять лет ни одного нарушения экологического законодательства на предприятии не зафиксировано.» [27]

Последние данные, раскрытые самой ООО «Тольяттикаучук», свидетельствуют о наличии у компании объема свободной для технологического присоединения потребителей трансформаторной мощности. [26]

Сведения о свободной трансформаторной мощности представлена в таблице 11.

Из приведённой таблицы видно, что Тольяттикаучук имеет в распоряжении мощности намного больше потребляемой. Также среди документов с раскрытой самой группой компаний «Татнефть» информации [26] можно найти документ о продаже свободной электроэнергии в другие компании, находящиеся на территории Тольяттикаучук, либо же принадлежащие Татнефти, или связанные с этой компанией другими обязательствами (например, покупке льготной энергии).

Таблица 11 – Свободная трансформаторная мощность

Наименование показателя	Объем, кВт
1	2
<b>Свободная трансформаторная мощность</b>	
Объем свободной трансформаторной мощности	
п/ст "Водозабор-1" 35/6кВ	500
п/ст "Водозабор-2" 110/6кВ	1000
ГПП-1 "Изопрен" 110/6кВ	10000
ГПП-2 "Бутил" 110/6кВ	7000
ГПП-3 "Полимер" 110/6кВ	8000
ГПП-4 "Фильтр" 110/6кВ	3000

Тольяттикаучук и дальше планирует наращивать оборот электроэнергии, покупая её у энергосбытовой компании по льготной ставке.

### 3.3 Достигаемые внедрением БАВР результаты

Проведя метаанализ приведённых в списке литературы источников данных, было замечено, что самые частые провалы в сетях трёхфазного тока напряжением 0,4 кВ проявляются на временных отрезках до 1 с при остаточном напряжении 70-90%, и на промежутках от 0,5 до 1 с при остаточном напряжении меньше 40%. «Усредненное распределение провалов напряжения по влияющим на них факторам длительности и остаточного напряжения можно увидеть на диаграмме ниже» [39].

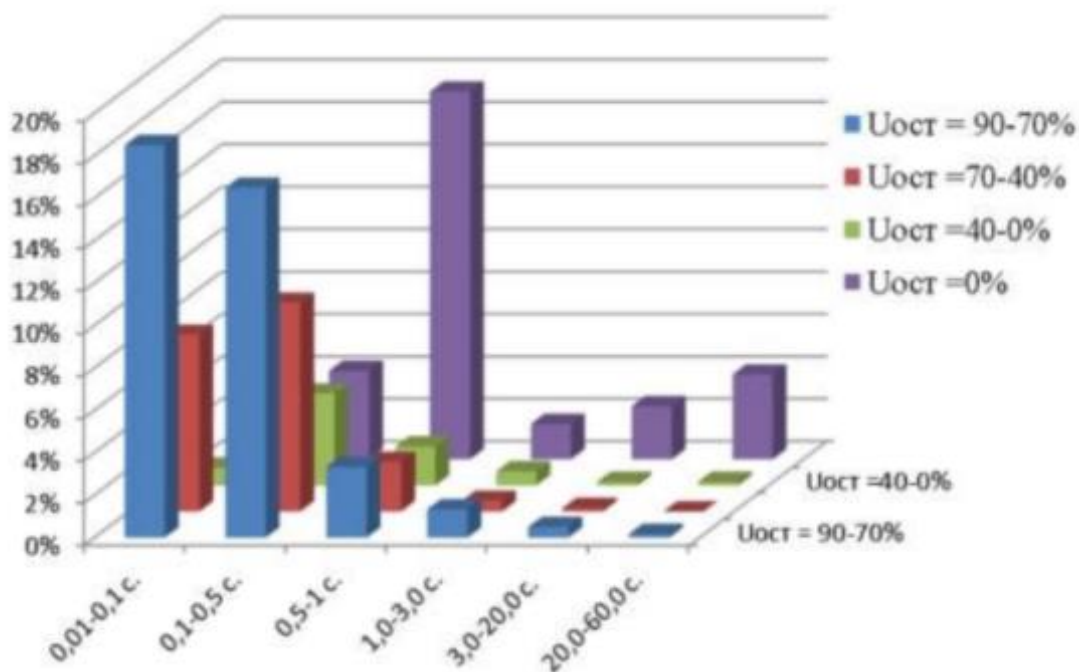


Рисунок 26 – Распределение провалов напряжения по факторам

«Для ЧРП общепромышленного применения время срабатывания ЗМН составляет 20-40 мс, работают такие ЧРП на основе двухзвенного преобразователя частоты, и их время срабатывания на порядок меньше длительности кратковременных провалов (200-400 мс)» [28].

Эксплуатационные испытания, производимые на действующих предприятиях нефтехимического кластера в течении трех лет показывают эффективности работы системы быстродействующего автоматического ввода резерва, согласно этим данным в работе при возникновении аварийной ситуации осталось нормально функционирующим 96% процентов оборудования.

Система БАВР приобретает еще большую эффективность при совместной работе с реклоузерами, позволяющими осуществлять дистанционно децентрализованное управление, что особо актуально для

воздушных линий. Учитывая характер нагрузки, для дополнительной защиты электродвигателей в станции управления следует внедрять контроллеры.

Так, внедрение БАВР в сетях 0,4 кВ позволит:

- распознать аварийный режим и своевременно подать команду на переключение за минимально возможное время, т.е. от 3 до 9 миллисекунд;
- получить время переключения, позволяющую сохранить нагрузку в рабочем состоянии;
- работать при несимметричных коротких замыканиях в энергосистеме напряжением 220 кВ, контролируя направление мощности и специально предназначенное для этого реле на базе угла максимальной чувствительной способности;
- получить надежно функционирующую энергосеть, как при наличии СД и АД, так и при их полном отсутствии;
- работать без привязки к используемым системам релейной защиты и автоматики. В составе БАВР можно дополнительно реализовать защиту МТЗ, ТО, ЗМН [46];
- вести запись осциллограмм всех связанных с БАВР событий, что позволит использовать устройство в составе автоматической системы управления технологией производства, выявлять параметры аварийных режимов и восстановления сети;
- восстанавливать нормальный режим работы без участия обслуживающего персонала;
- сохранять события, происходившие в сети вплоть до 1000 срабатываний БАВР для последующего анализа возникших ситуаций и предотвращения нарушений питания в энергосистеме;
- уменьшить пусковые токи. Вместо стандартных  $5-7I_{ном}$  это будут  $2-3I_{ном}$ . Помимо этого, уменьшение пусковых токов увеличивает

время непрерывной работы электродвигателей и насосов и их сроки службы;

- оставить остаточное напряжение на высоком уровне, как и прежде;
- повысить успешность самозапуска, при этом повышается успешность самозапуска всех механизмов собственных нужд, а не только ответственных механизмов;
- обеспечить непрерывный технологический процесс без перебоев в поставке питания;
- значительно уменьшить время переходных процессов по сравнению с традиционными АВР либо другими системами
- ну и последнее, БАВР – это полностью отечественная разработка, которая защищена патентами Российской Федерации, США и других стран, что позволяет включить данный комплекс в программу импортозамещения.

Исходя из всего вышеперечисленного можно выделить ряд преимуществ системы с быстродействующими аппаратами, перед классической. Самым важным аспектом остается бесперебойность работы предприятия и сохранение технологического процесса. Помимо этого, модернизированная система позволит поддерживать высоким остаточное напряжение на шинах, минимизировав отключения потребителей.

Выводы по третьему разделу

Рассмотрены критерии внедрения БАВР в сеть с двигательной нагрузкой. Вышеупомянутые параметры предназначены, в рамках рассматриваемой темы, для автоматического определения аварийного режима подстанции. Выяснено, что быстрое переключение является самым рациональным методом переключения для обеспечения малой длительности нарушения электроснабжения в случае, когда возникла неисправность.

Результаты, достигаемые внедрением:

- своевременное синфазное переключение на резервный источник питания;
- обеспечение работы при несимметричных коротких замыканиях в энергосистеме напряжением 220 кВ;
- обособленная работа без привязки к используемым системам релейной защиты и автоматики;
- учет записи осциллограмм всех связанных с БАВР событий, что позволяет использовать устройство в составе автоматической системы управления технологией производства, выявлять параметры аварийных режимов и восстановления сети, восстановление нормального режим работы без участия обслуживающего персонала;
- сохранение истории событий, происходивших в сети вплоть до 1000 срабатываний БАВР для последующего анализа возникших ситуаций и предотвращения нарушений питания в энергосистеме.

Нагрузка, которая присуща ООО «Тольяттикаучук» обладает повышенными требованиями к бесперебойности электроснабжения, а точнее, к наибольшему времени перерыва в электропитании. Если быть конкретнее, перерыв должен не превышать время срабатывания защит механических приводов, время потерь инерционного момента вращения двигателей, время размыкания контактов магнитных пускателей.

Для решения проблем простоев и удачного самозапуска двигателей после перебоев с питающей сетью или кратковременными нарушениями ЭДС в сетях с двигательной нагрузкой использование быстродействующего автоматического ввода резерва оказалось целесообразным. Это позволит избежать медленного самозапуска двигателей, а также нарушения синфазности токов на обмотках двигателя.

Выявлены основные проблемы электрической сети с двигательной нагрузкой, на основании чего, предложено решение, позволяющее максимально эффективно бороться с простоями, спровоцированными возникновением проблем сети с двигательной нагрузкой.

Целесообразным решением принято применение системы быстродействующего автоматического ввода резерва (БАВР).

В составе рассматриваемого оборудования, комплекс БАВР имеет целевую функцию обеспечения автоматического переключения на резервный ввод в случае исчезновения напряжения на питающей линии, при этом, не допуская остановки работающего оборудования и нарушения технологического процесса потенциально опасного и энергоемкого производства. Кроме того, при возобновлении функционирования основной питающей линии, посредством комплекса БАВР осуществляется переключение обратно с резервного источника.

Исходя из всего вышеперечисленного можно выделить ряд преимуществ системы с быстродействующими аппаратами, перед классической. Самым важным аспектом остается бесперебойность работы предприятия и сохранение технологического процесса. Помимо этого, модернизированная система позволит поддерживать высоким остаточное напряжение на шинах, минимизировав отключения потребителей.



## Заключение

Проведен анализ системы электроснабжения ООО «Тольяттикаучук». Изучен производственный цикл предприятия и структура основных производств, объемы производимой продукции и электрической мощности, необходимой для ее производства, определена степень пожаро- и взрывоопасности, характер нагрузки и режимов работы электрооборудования позволяет отнести его к I категории надежности электроснабжения.

Проведен расчет электрических нагрузок предприятия по допустимым рабочим токам для выбора распределительных устройств, сечений проводников, коммутирующих аппаратов и аппаратов защиты с оптимальными параметрами. Также произведена проверка числа и мощности установленных трансформаторов в части соответствия потребляемой нагрузки.

Выявлены особенности потребителей электрической энергии на предприятии, в особенности, двигательной нагрузки. Проанализированы возможные ситуации, связанные с перебоем питания рассматриваемого оборудования или снижением напряжения питающих линий.

Проведен анализ режимов работы сети электроснабжения ООО «Тольяттикаучук». Первично рассмотрена классификация номинальных режимов работы электроприемников. Определена структура построения электрической сети предприятия, включающая основные узлы энергосистемы предприятия. Произведена оценка эффективности работы электрической сети с двигательной нагрузкой. В первую очередь рассмотрена характеристика работы асинхронных двигателей и отдельные их режимы по и характеру работы, а также интенсивности нагрева. Приведен результат влияния на работы потребителей отклонения, колебания, несимметрии и несинусоидальности напряжения.

Выявлены основные проблемы электрической сети с двигательной нагрузкой, на основании чего, предложено решение, позволяющее

максимально эффективно бороться с простоями, спровоцированными возникновением проблем сети с двигательной нагрузкой.

Выполнено сравнение режимов работы энергосети предприятия с учётом внедрения АВР и без. Целесообразным решением принято применение системы быстродействующего автоматического ввода резерва (БАВР).

Предложена стратегия трансформации системы электроснабжения ООО «Тольяттикаучук» посредством применения систем быстродействующего автоматического ввода резерва.

Рассмотрены критерии внедрения БАВР в сеть с двигательной нагрузкой. Вышеупомянутые параметры предназначены, в рамках рассматриваемой темы, для автоматического определения аварийного режима подстанции. Выяснено, что быстрое переключение является самым рациональным методом переключения для обеспечения малой длительности нарушения электроснабжения в случае, когда возникла неисправность.

С учетом предложенной модернизации, определены перспективы развития электрической сети предприятия. Более полное представление о перспективах сформировано на основании тенденций к развитию нефтехимического кластера.

## Список используемых источников

1. Автоматические выключатели серии ВА. ИЕК [Электронный ресурс]  
URL: [https://www.iek.ru/products/catalog/modulnoe\\_oborudovanie/avtomaticheskie\\_vy\\_klyuchateli/](https://www.iek.ru/products/catalog/modulnoe_oborudovanie/avtomaticheskie_vy_klyuchateli/) (дата обращения 06.03.2021).
2. Автоматические выключатели. АО «Контактор» [Электронный ресурс] URL: [https://www.kontaktor.ru/dealers/technical\\_documentation/](https://www.kontaktor.ru/dealers/technical_documentation/) (дата обращения 06.09.2021).
3. Автоматический ввод резерва: назначение, устройство, схемы работы, описание, компания Chint-electric;  
URL: <https://orensbyt.ru/avtomatizatsiya/avr-cto-eto-takoe-rasshifrovka-ustrojstvo-varianty-shem-avr.html> (дата обращения 12.10.2021)
4. Анализ параметров БАР [Электронный ресурс] URL: [http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Bashirov/Bashirov\\_6.pdf](http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Bashirov/Bashirov_6.pdf) (дата обращения 18.09.2021).
5. Андреев М. А. Идентификация параметров асинхронного электропривода на интервалах коммутации силовых ключей автономного инвертора // Системы управления и информационные технологии. – 2009. – № 3(37). – С. 68–71.
6. Андреев М. А. Параметрическая идентификация асинхронного электропривода в режиме реального времени : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.09.03 / М. А. Андреев. – СПб, 2010. – 18 с. 120
7. БАР - назначение и принцип действия; компания Romegrim URL: <https://pomegerim.ru/rza/bavr.php> (дата обращения 12.11.2021)
8. БАР 0,4 кВ. НПК «Энергетическое оборудование» [Электронный ресурс] URL: <https://mig-energo.ru/avr-mig/bavr-04-kv/> (дата обращения 23.10.2021)
9. Быков Н.С. Электрооборудование и электрохозяйство цеха химического предприятия группы компаний ПАО "Сибур" [Электронный

ресурс] URL:  
[https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/11408/1/Быков%20Н.С.\\_ЭЭТп\\_1501.pdf](https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/11408/1/Быков%20Н.С._ЭЭТп_1501.pdf) (дата обращения 12.09.2021)

10. Веников В. А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах : учеб. для электроэнергетич. спец. вузов / В. А. Веников. – 4-е изд., перераб. и доп. : Высш. шк., 1985. – 536 с. [Электронный ресурс]

URL:<http://dlib.rsl.ru/rsl01008000000/rsl01008551000/rsl01008551609/rsl01008551609.pdf>(дата обращения 23.10.2021)

11. Взрывозащищенные светодиодные светильники. Световые технологии. [Электронный ресурс] URL:  
<https://www.ltcompany.com/ru/knowledge/catalogues/> (дата обращения 16.01.2019).

12. Глазырин А. С., Боловин Е. В. Идентификация параметров асинхронных электродвигателей с неподвижным короткозамкнутым ротором на основе разностных схем // Изв. Томск. политехн. ун-та. – Томск, 2012. – № 5. – С. 101–105.

13. Глазырин А. С., Боловин Е. В. Разработка и лабораторное апробирование метода идентификации параметров электродвигателей на основе разностных схем // Изв. Томск. политехн. ун-та. – Томск, 2012. – Т. 321, № 4. – С. 112–115.

14. ГОСТ 28249-93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. Введ. 1995-01-01. М.: Стандартинформ, 2019. 44 с.

15. ГОСТ 30851.0-2002 (МЭК 60079-0:1998) Электрооборудование взрывозащищенное. Введ. 2014-02-15. М.: Стандартинформ, 2014. 50 с.

16. ГОСТ Р 54827-2011 (МЭК 60076-11:2004) Трансформаторы сухие. Общие технические условия. Введ. 2012-12-01. М.: Стандартинформ, 2018. 33 с.

17. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений. Введ. 2014-07-01. М.: Стандартиформ, 2014. 16 с.

18. Дехтерев А. И., Фишов А. Г. Особенности расчёта запасов статической устойчивости в режиме реального времени // Энергетика глазами молодёжи : сб. докл. всерос. науч.-техн. конф. Т. 1. – Екатеринбург, 2010. – С. 226–231. 121 [Электронный ресурс] URL:<http://elibrary.ru/item.asp?id=20699207>(дата обращения 23.10.2021)

19. Жуков А. В., Сацук Е. И., Дубинин Д. М. Развитие технологий мониторинга и управления в ЕЭС России на базе системы мониторинга переходных режимов // Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем : сб. докл. IV междунар. науч.-техн. конф. – Екатеринбург, 2013. – С. 45–49.

20. Кабель ВБШВнг-LS. НПП «Спецкабель» Электронный ресурс] URL: <http://www.kazkabel.ru/catalog-1-14-11>. (дата обращения 06.03.2019).

21. Кабышев А.В. Электроснабжение объектов. Ч.1. Расчет электрических нагрузок, нагрев проводников и электрооборудования: учебное пособие// Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 185с. Режим доступа: <http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/264/75264/55922> Дата доступа: 14.10.2021.

22. Каширских В. Г. Динамическая идентификация асинхронных электродвигателей : монография // Кемерово : Изд-во ГУ КузГТУ, 2005. – 139 с.

23. Контроль устойчивости узлов двигательной нагрузки электрических сетей в режиме реального времени [Электронный ресурс] URL:<http://www.dslib.net/elektro-stancii/kontrol-ustojchivosti-uzlov-dvigatelnoj-nagruzki-jelektricheskikh-setej-v-rezhime.html> (дата обращения 23.10.2021)

24. Колюхова Е.А. Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий (теория и примеры): учебное пособие. М.: РУСАЙНС, 2017. 160 с.

25. Кудрин, Б. И., Прокопчик В. В. Электроснабжение промышленных предприятий // Минск: Вышэйшая школа, 1988. - 358 с.

26. Леухин Е.С., Гобилев С.Н., Исследование переходных процессов в линиях электропередач питающих потребителей АПК // Энергетика глазами молодёжи : сб. докл. всерос. науч.-техн. конф. Т. 1. – Екатеринбург, 2010. – С. 194–199. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41538413> (Дата обращения: 14.12.2021)

27. Микропроцессорные реле защиты Новые перспективы или новые проблемы? Scbist [Электронный ресурс] URL:<http://scbist.com/rele-i-bloki/44084-mikroprocessornye-rele-zaschity-novye-perspektivy-ili-novye-problemy-print.html?pp=40>(дата обращения 23.10.2021)

28. Нефтегаз. Периодическое новостное издание [Электронный ресурс] URL: <https://neftegaz.ru/news/neftechim/507529-snova-tolyattikauchuk-tatneft-pereimenovala-nedavno-priobretenny-sibur-tolyatti/>(дата обращения 13.10.2021)

29. ООО «Тольяттикаучук», Раздел: о компании, [Электронный ресурс] URL: [www.sibur.ru/about/overview/](http://www.sibur.ru/about/overview/) (дата обращения 16.10.2021).

30. ООО «Тольяттикаучук». Раскрытие информации [Электронный ресурс] URL: <https://togliatti.tatneft.ru/raskritie-informatsii?lang=ru> (дата обращения 12.10.2021)

31. ОпорковД. Н., ГайдамакинФ. Н., ДанилинаА. В., ДубининД. М., Опыт создания автоматической системы сбора информации с регистраторов системы мониторинга переходных режимов в ОАО «СО ЕЭС» // Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем : сб. докл. IV междунар. науч.-техн. конф. – Екатеринбург, 2013. – С. 57–61.

32. Педан А. С., Фишова А. Г. Идентификация параметров схемы замещения нагрузки по данным СМПП и определение критических напряжений // Энергетика глазами молодёжи : сб. докл. всерос. науч.-техн. конф. Т. 1. – Екатеринбург, 2010. – С. 114–116. Режим доступа: <http://refwin.ru/893077608.html> (Дата обращения: 14.12.2021)

33. Правила устройства электроустановок. М: Энергоатомиздат, 2015, 330 с.

34. Приемники электрической энергии. Школа для электрика [Электронный ресурс] URL:<http://electricalschool.info/main/elsnabg/155-priemniki-jelektricheskoy-jenergii.html> (дата обращения 26.10.2021)

35. Радкевич В. Н. Проектирование систем электроснабжения / Минск : НПООО «Пион», 2001. - 292 с. 8. Пособие к «Указаниям по расчету электрических нагрузок» (вторая редакция) // ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект» [Электронный ресурс]. - 2013. - Режим доступа: гост-снп-рд.РФ/ Datal/9/9693/index.htm. - Дата доступа: 14.09.2021.

36. Радкевич В. Н., Козловская В. Б., Колосова И. В. Расчет электрических нагрузок промышленных предприятий: учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)»/Минск:БНТУ, 2013. - 124 с. ISBN 978-985-525-953-5. URL: <https://docplayer.ru/31972778-Kaf-edra-elektrosnabzh-enie-v-n-radkevich-v-b-kozlovskaya-i-v-kolosova-raschet-elektricheskikh-nagruzok-promyshlennyh-predpriyatiy.html>

37. Развитие технологий векторной регистрации параметров режима в ЕЭС России // Энергетика глазами молодёжи : сб. докл. всерос. науч.-техн. конф. Т. 1. – Екатеринбург, 2010. – С. 58–64.

38. Расчёт электрических нагрузок завода. [Электронный ресурс] URL: [https://knowledge.allbest.ru/physics/3c0a65625b3ac69b4d53a89521306d26\\_0.html](https://knowledge.allbest.ru/physics/3c0a65625b3ac69b4d53a89521306d26_0.html) (дата обращения 18.09.2021).

39. Режим энергетической системы [Электронный ресурс] URL: <https://powersystem.info/index.php?title=%D0%A0%D0%B5%D0%B6%D0%B8>

[%D0%BC%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B9%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D1%8B](#) (дата обращения 21.10.2021).

40. Рожин А.Н., Бакшаева Н.С. Внутрицеховое электроснабжение: учеб. пособие для выполнения курсового и дипломного проектов. Киров: Изд-во ВятГУ, 2016. 258 с.

41. Соболева М. А., А. Г. Фишов. Определение предельных режимов электроэнергетической системы на основе матрицы собственных и взаимных проводимостей ЭДС эквивалентных генераторов // Электричество. – 2013. – № 8. – С. 9–14. [Электронный ресурс] URL:<http://dlib.rsl.ru/rsl01008000000/rsl01008958000/rsl01008958889/rsl01008958889.pdf>(дата обращения 23.10.2021)

42. СП 51.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95. Введ. 2017-05-08. М.: Минстрой России, 2017. 102 с.

43. Схема выдачи мощности ТЭС для нужд ООО «Тольяттикаучук» [Электронный ресурс] URL: <https://www.el-ts.ru/portfolio/shema-vyidachi-moshhnosti-tes-dlya-nuzhd-ooo-tolyattikauchuk/> (дата обращения 16.09.2021).

44. Трансформаторы сухие ТСЗ ООО «КПМ» [Электронный ресурс] URL: [http://www.complectprom.ru/produkcija/transformatory\\_suhie/transformatory\\_suhie\\_silovyeraspredelitelnye2/tsz630kva6/](http://www.complectprom.ru/produkcija/transformatory_suhie/transformatory_suhie_silovyeraspredelitelnye2/tsz630kva6/) (дата обращения 26.01.2019).

45. Трансформаторы тока ТНШЛ-0,66 ОАО «Свердловский завод трансформаторов тока» [Электронный ресурс] URL: [http://www.czt.ru/TNSHL\\_066.html](http://www.czt.ru/TNSHL_066.html) (дата обращения 16.01.2019).

46. Устройство защиты электродвигателя. «Мониторинг тока двигателя». Паспорт устройства. ООО «ЭНЕРГИС-АВТОМАТИКА». Киров 2018. 20 с.



47. Фишов А. Г. Мониторинг запасов устойчивости энергосистем по данным СМПР с идентификацией и использованием собственных и взаимных проводимостей ЭДС эквивалентных генераторов // Энергетика глазами молодёжи : сб. докл. всерос. науч.-техн. конф. Т. 1. – Екатеринбург, 2010. – С. 24–27.

48. Cassedy E. S., Peter Z. G. Introduction to Energy : tutorial. Cambridge : Cambridge University Press, 2017. 440 p.

49. Daza S.A. Electric Power System Fundamentals. London: Artech House, 2016. 388 p.

50. Gaty L.R. Calculation of short circuit current // Journal of IEEE. 2014. Vol. 74. No. 1. pp. 200 – 205.

51. Glazyrin A. S., E. V. Bolovin. Time delay adjustment for the method of parameter identification of dynamic object // Aktualne problemy nowoczesnych nauk-2012: Materiały VIII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji. – Пшемысль, 7–15 czerwca 2012. – Przemysł: Nauka i studia. – 2012. – Т. 45. – С. 79–81.

52. Jensen C. F. Online location of faults on AC cables in underground transmission systems. Alborg: Department of energy technology, 2014. 221 p.

53. Mohamed A. Ibrahim. Protection & Control for Power System. CreateSpace Independent Publishing Platform. 2016. 540 p.