

Исследование влияния ввода ветряной электростанции в воздушную линию 220 кВ Нижнекамская-Чистополь-220 на параметры электроэнергетического режима энергосистемы Республики Татарстан

Е. Г. Степанова¹, М. Н. Семенов²

Казанский государственный энергетический университет;

Филиал АО «СО ЕЭС» ОДУ Средней Волги

¹lenochka2997@mail.ru, ² maxim.snt@inbox.ru

В. И. Калашников

Казанский государственный энергетический университет

valen.98@mail.ru

Аннотация. Ввод новых источников генерации в существующую сеть может привести к изменению режима ее работы вплоть до тяжелых аварийных отключений в нормальных и ремонтных схемах. Для предотвращения аварийных ситуаций составляется схема выдачи мощности вводимой генерации и моделируются различные варианты ремонтов оборудования. В данной работе представлены результаты одного из вариантов подключения ветряной электростанции в Чистопольские электрические сети и ее возможное влияние на существующие параметры режима сети.

Ключевые слова: ветряная электростанция (ВЭС); программный комплекс (ПК) «RastrWin3»; параметры режима; генерация

I. ВВЕДЕНИЕ

Согласно ежегодному отчету Министерства энергетики Российской Федерации [2] в 2020 году было введено в работу 2 ГВт мощности, из них 940 МВт приходится на ветряные электростанции. Введение новых мощностей положительно сказывается на обеспечении экономически эффективного баланса между генерацией и потреблением. Однако эта же генерация может отрицательно повлиять на работу оборудования, не предназначенного для большей установленной мощности. Это может привести к перегрузке оборудования: линий электропередач, трансформаторов и автотрансформаторов, а также к вынужденному простоям блоков, пропускной способности линий электропередач. Перечисленные неблагоприятные последствия несут экономические потери, поэтому до начала строительства принято составлять модели схем выдачи мощности, просчитывая все возможные нормативные отключения, ремонты, двойные ремонты и нормативные отключения в двойных ремонтах. Позволяя просчитывать статическую и динамическую устойчивость системы, целесообразность установки генерации именно в рассматриваемом районе и способность сети передавать установленную мощность вновь вводимой генерации. На данный момент ведется планирование введения ветряных электростанций в одном из районов Республики Татарстан, поэтому разработка схемы выдачи мощности ВЭС является актуальной задачей и требует подробного изучения.

A. Применяемые в статье сокращения

АО – аварийное отключение;

АТ – автотрансформатор;

ВЛ – воздушная линия;

ВЭС – ветряная электростанция;

ВЭУ – ветряная электроустановка;

ЭС – электрические сети;

ПС – подстанция;

РТ – Республика Татарстан.

B. Цель и задачи проекта

Целью настоящей работы является разработка схемы выдачи мощности Камской ВЭС 3.5 максимальной располагаемой мощностью 200 МВт с учетом условий формирования баланса электрической энергии и мощности энергосистем Республики Татарстан и ОЭС Средней Волги.

В качестве основного источника информации для исследования влияния ввода ветряной электростанции в ВЛ 220 кВ Нижнекамская-Чистополь-220 на параметры электроэнергетического режима энергосистемы РТ использовались:

- Нормальная схема электрических соединений объектов электроэнергетики, входящих в операционную зону РДУ Татарстана.
- Программный комплекс «RastrWin3».

C. Краткий анализ существующего состояния электроэнергетики Чистопольских ЭС

Чистопольские электрические сети входят в состав Нижнекамского энергорайона. Энергосистема Чистопольских электрических сетей граничит с энергосистемой Самарской области.

Основными питающими (внешними) связями 110-220 кВ для Чистопольских ЭС являются:

- ВЛ 220 кВ Нижнекамская-Чистополь-220;
- ВЛ 110 кВ Заинск-Каргали 1;
- ВЛ 110 кВ Заинск-Каргали 2.

По результатам контрольных замеров 2019, 2020 и 2021 гг. баланс электрической мощности по Чистопольскому энергорайону сложился с дефицитом мощности в объеме 8,4 – 37 %. В связи с этим подтверждается необходимость ввода недостающих мощностей в данном районе Республики Татарстан.

D. Разработка варианта развития электрической сети, обеспечивающей выдачу мощности Камская ВЭС 3.5

Результаты расчетов параметров работы электрической сети 110 кВ и выше прилегающей к Камская ВЭС 3.5 являются основой для оценки допустимости рассматриваемых режимов с точки зрения работы оборудования сети и определения объемов сетевого строительства, необходимых для обеспечения выдачи установленной мощности в нормальных и ремонтных схемах сети. [1]

Исходными данными для проведения расчетов электрических режимов являются:

- схема и параметры сети энергосистемы;
- активная и реактивная мощности нагрузки.

Первым делом перед составлением схемы выдачи мощности ветряной электростанции были проведены расчёты параметров необходимого оборудования, выбрано место установки ветряной электростанции в электрической сети и основное оборудование. На рис. 2 представлена схема соединений подстанций Чистопольских электрических сетей в настоящее время.

Местом установки ветряной электростанции Камская ВЭС 3.5 стала ВЛ 220 кВ Нижнекамская-Чистополь-220 (рис. 4).

II. ИСХОДНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПК «RASTRWIN3»

Для составления модели функционирования ВЭС в энергосистеме РТ и связей, соединяющих её с основной сетью, нужно провести, следующие расчёты [6]:

A. Линии электропередач:

Для моделирования линии электропередач применяется П-образная схема замещения (рис. 1):

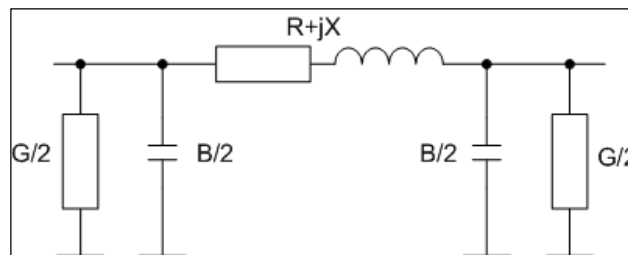


Рис. 1. П-образная схема замещения линии

Значения R [Ом], X [Ом], B [См] определяются длиной L [км] линии между соседними узлами расчетной схемы и значениями удельных параметров r_0 [Ом/км], x_0 [Ом/км], b_0 [См/км]:

$$R = r_0 \cdot L; \quad X = x_0 \cdot L; \quad B = b_0 \cdot L.$$

B. Результаты расчетов для провода АС-300 [4]:

$$r_0 = 0,096 \text{ Ом/км};$$

$$x_0 = 0,429 \text{ Ом/км};$$

$$b_0 = 2,645 \cdot 10^{-6} \text{ См/км}$$

Результаты для воздушной линии (ВЛ) 220 кВ Нижнекамская- отпайка 1 на Камскую ВЭС 3.5 и ВЛ 220 кВ Чистополь 220 кВ-2 отпайка на Камскую ВЭС 3.5 (длина линий $L=58,412$ км):

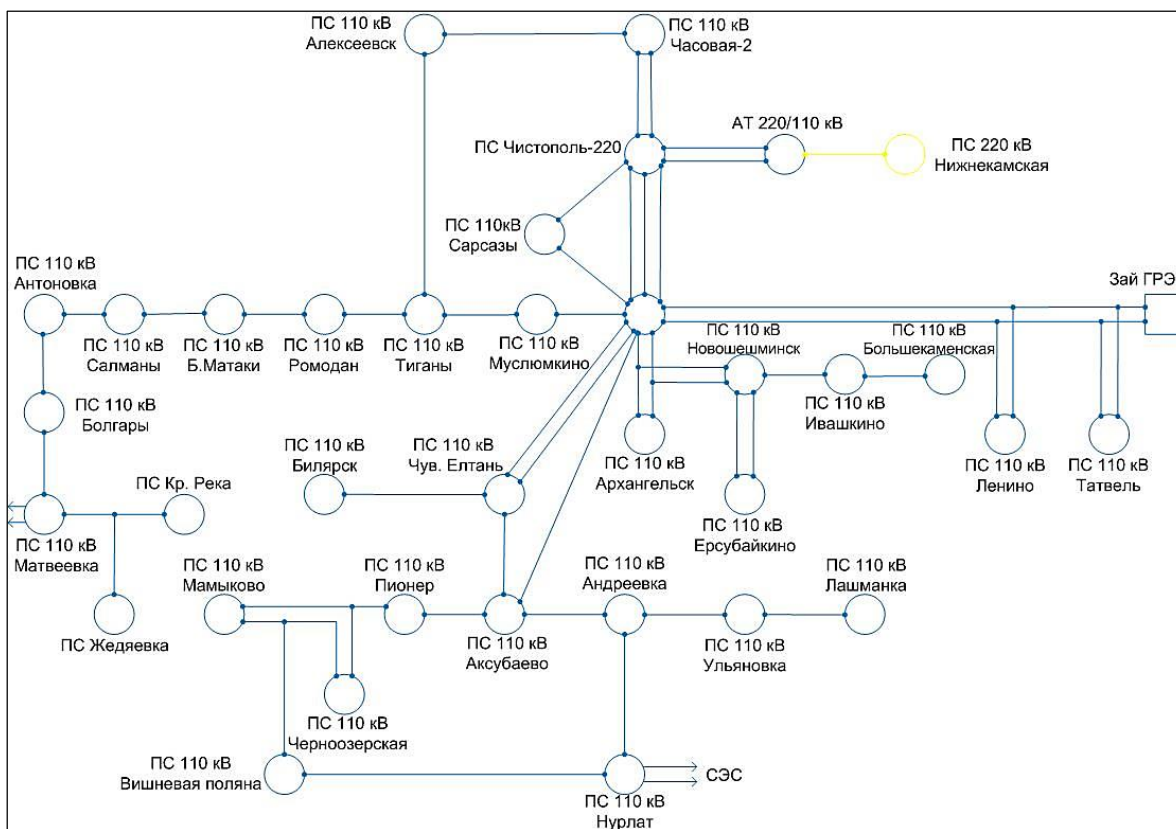


Рис. 2. Схема Чистопольских электрических сетей до введения ветряной электростанции

Д. Для проектирования использовался трансформатор ТДЦ-125000/220

Трансформатор двухобмоточный, поэтому применяем Г-образную схему замещения (рис. 3).

Параметры

$S_{НОМ}=125$ МВА, $U_{ВН}=242$ кВ, $U_{НН}=10,5$ кВ, $\eta_k=11$ %, $\Delta P_k=380$ кВт, $\Delta P_{ХХ}=135$ кВт, $I_{ХХ}=0,5$ %, $R_T=1,4$ Ом, $X_T=51,5$ Ом, $\Delta Q_X=625$ кВар. [5]

По формулам определяем:

$$Y = \frac{I_{ХХ}}{100} \cdot \frac{S_{НОМ}}{U_{НОМ}^2} = \frac{0,5}{100} \cdot \frac{125}{242^2} = 1,067 \cdot 10^{-5} \text{ См};$$

$$G = \frac{P_{ХХ}}{U_{НОМ}^2} = \frac{135}{242^2} = 0,2305 \cdot 10^{-5} \text{ См};$$

$$B = \sqrt{Y^2 - G^2} = 10^{-5} \cdot \sqrt{1,067^2 - 0,2305^2} = 1,0418 \cdot 10^{-5} \text{ См};$$

$$K_T = \frac{U_{НН}}{U_{ВН}} = \frac{10,5}{242} = 0,043.$$

Е. Генератор

В исходных данных генераторного узла по модели PU необходимо указать генерируемую им активную мощность P и заданное напряжение U в узле подключения генератора, которое он будет «стремиться» выдерживать за счет изменения генерируемой им реактивной мощности Q . Дополнительно к указанным данным, необходимо ввести ограничения на величину генерируемой реактивной мощности Q , т.к. она не может меняться безгранично. Допустимый диапазон изменения генерируемой реактивной мощности связан с ограничениями по току статора и току ротора и обычно представляется в виде зависимости $Q=f(P)$. Для каждого генератора эта зависимость индивидуальна.

Номинальная активная мощность в 200 МВт достигается при строительстве 36 ветряных электроустановок (ВЭУ), установленной мощностью по 5,6 МВт.

Активная мощность ВЭС (36 ВЭУ), (МВт):

$$P_{уст}=201,6 \text{ МВт}$$

Мощность собственных нужд принимается в размере 5% от установленной мощности и равна $P_{сн}=10,08$ МВт

Напряжение в узле подключения генератора:

$$U_{НОМ}=10,5 \text{ кВ}$$

III. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЁТОВ ЛЕТНЕГО РЕЖИМА МАКСИМАЛЬНЫХ НАГРУЗОК (+19 °С)

Моделирование схемы выдачи мощности проводилось в программном комплексе «RastrWin3», в который были занесены результаты расчетов. Этот программный комплекс предназначен для решения задач по расчёту, анализу оптимизации режимов электрической сети и систем. [3]

С помощью программного комплекса «RastrWin3» было проведено моделирование отключения всех

вариантов линий, которые могли оказать влияние на устойчивость энергосистемы Чистопольского района Республики Татарстан.

В качестве базовых расчетных моделей были приняты результаты обработки контрольных измерений 17.06.2020 за 10 часов с учетом характерного состава генерирующего оборудования в рассматриваемом энергорайоне.

Характерным периодом принят летний период (режим максимальных нагрузок при температуре +19 °С в соответствии с СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология»). [4]

Рассмотрели следующие схемно-режимные ситуации:

- Параметры электроэнергетической системы при нормальной схеме;
- Аварийное отключение ВЛ 110 кВ Заинск-Каргали 2(1) при ремонте ВЛ 220 кВ Нижнекамская – отп.1Камская ВЭС 3.5;
- Аварийное отключение АТ-1(2) ПС 220 кВ Нижнекамская при ремонте ВЛ 220 кВ Чистополь-220-2 отп.Камская ВЭС 3.5;
- Аварийное отключение АТ 1,2 ЗГРЭС в нормальной схеме;
- Аварийное отключение ВЛ 110 кВ Каргали-Чистополь-220 3 при ремонте ВЛ 110 кВ Каргали-Чистополь-220 (5);
- Аварийное отключение ВЛ 110 кВ Каргали-Чистополь 220 (3) и двойном ремонте ВЛ 220 кВ Нижнекамская- отп.1Камская ВЭС 3.5 и ВЛ 110 кВ Каргали-Чистополь 220 (5);
- Аварийное отключение АТ 1,2 Заинской ГРЭС при ремонте ВЛ 220 кВ Нижнекамская-отп.1Камская ВЭС 3.5;
- Аварийное отключение АТ-2(1) ПС 220 кВ Чистополь-220 при ремонте ВЛ 220 кВ Нижнекамская – отп.1Камская ВЭС 3.5.

Результаты наиболее тяжелых режимов аварийных отключений в ремонтных схемах представлены в табл. I «Режим летних максимальных нагрузок при температуре +19°С».

На рис.5 и рис.6 представлены перегрузка ВЛ 110 кВ Каргали-Чистополь 220 (4) и АТ-1(2) ПС 220 кВ Чистополь-220 соответственно. В табл. I предложены мероприятия для предотвращения данных перегрузок.

В таблице приведен ряд сокращений, где:

ДДТН – длительно-допустимая токовая нагрузка, А;

АДТН – аварийно-допустимая токовая нагрузка, А;

P, Q – активная и реактивная мощность, МВт и МВар;

I – максимальный ток в линии, А;

$U_{нач}$ и $U_{кон}$ – напряжение в начале и конце линии, кВ.

ТАБЛИЦА I

РЕЖИМ ЛЕТНИХ МАКСИМАЛЬНЫХ НАГРУЗОК ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ +19°C

Контролируемый элемент	Контролируемые параметры									Схемно-режимная ситуация
	ДТН, А	АДТН, А	Р, МВт	Q, МВар	I, А	V нач, кВ	V кон, кВ	I/Идтн, %	I/Идтн, %	
ВЛ 220 кВ Нижнекамская-отп.1Камская ВЭС 3.5	867,2	1000	98,8	7,5	245	235,7	232,32	28,2	24,5	Нормальная схема
АТ-1(2) ПС 220 кВ Нижнекамская	962,6	1000	81,1	74,5	540	232,32	112,99	56,1	54	
АТ-1(2) ЗГРЭС	317,4	378	78,9	5,8	195	237,29	120,73	61,4	51,59	
ВЛ 110 кВ Заинск-Каргали 1(2)	537	600	8,4	2,8	42	120,73	119,21	7,9	7	
ВЛ 220 кВ Чистополь-220-2 отп.Камская ВЭС 3.5	867,2	1000	89,3	27,7	243	235,7	230,79	27,0	24,3	АО ВЛ 110 кВ Каргали-Чистополь 220 (3) и двойном ремонте ВЛ 220 кВ Нижнекамская-отп.1Камская ВЭС 3.5 и ВЛ 110 кВ Каргали-Чистополь 220 (5) Для устранения перегрузки на ВЛ 110 кВ Каргали-Чистополь 220 4 при АО ВЛ 110 кВ Каргали-Чистополь 220 3 и двойном ремонте ВЛ 220 кВ Нижнекамская-отп.1Камская ВЭС 3.5 и ВЛ 110 кВ Каргали-Чистополь 220 5 превентивно снижаем вырабатываемую мощность Камской ВЭС 3.5 на 24 МВт
ВЛ 110 кВ Каргали-Чистополь 220 4	533	600	-146	17	704	120,82	117,26	132,0	117,33	
АТ-1(2) ПС Чистополь-220 (сторона 220 кВ)	316,4	442,2	-93	-7	233	230,55	120,82	73,6	52,69	
ВЛ 110 кВ Заинск-Каргали 1(2)	537	600	37	-24	218	117,26	119,58	40,6	36,33	
ВЛ 220 кВ Чистополь-220-2 отп.Камская ВЭС 3.5	867,2	1000	-189	-21	466	236,88	230,55	53,7	46,6	
ВЛ 110 кВ Каргали-Чистополь 220 4	533	600	-123	12	590	121,3	118,0	110,7	98,33	
АТ-1(2) ПС 220 кВ Чистополь-220 (сторона 220 кВ)	316,4	442,2	-81	-8	203	231,7	121,3	64,3	45,9	
ВЛ 110 кВ Заинск-Каргали 1(2)	537	600	26	-19	161	118,6	118	30	26,83	
ВЛ 220 кВ Чистополь-220 кВ-2 отп.Камская ВЭС 3.5	867,2	1000	-165	-19	407	237,5	231,7	46,9	40,7	
АТ-1(2) ПС 220 кВ Чистополь-220	316,4	442,2	-185	-23	472	228,2	118,9	149,3	106,7	
ВЛ 110 кВ Каргали-Чистополь 220 4	533	600	-48	12	239	118,9	118,1	44,8	39,83	АО АТ-2(1) ПС 220 кВ Чистополь-220 при ремонте ВЛ 220 кВ Нижнекамская-отп.1Камская ВЭС 3.5
АТ-1(2) ПС 220 кВ Чистополь-220	316,4	442,2	-172	-23	437	229,3	119,3	138,1	98,82	Для устранения перегрузки на АТ-2(1) ПС 220 кВ Чистополь-220 при АО АТ-2(1) ПС 220 кВ Чистополь-220 при ремонте ВЛ 220 кВ Нижнекамская-отп.1Камская ВЭС 3.5 превентивно снижаем вырабатываемую мощность Камской ВЭС 3.5 на 14 МВт
ВЛ 110 кВ Каргали-Чистополь 220 4	533	600	-44	10	216	119,3	118,4	40,5	36	

А. Результаты

В ходе проведения моделирования и расчётов режимов были обнаружены два наиболее опасных режима, в которых величина максимального тока превышает значение аварийно-допустимого:

1. При аварийном отключении ВЛ 110 кВ Каргали-Чистополь 220 (3) и двойном ремонте ВЛ 220 кВ Нижнекамская- отпайка 1 Камская ВЭС 3.5 и ВЛ 110 кВ Каргали-Чистополь 220 (5) возникает перегрузка ВЛ 110 кВ Каргали-Чистополь 220 (4) в размере 704 А, что составляет 117,33 % от величины АДТН (600 А).

Решение: Для устранения перегрузки на ВЛ 110 кВ Каргали-Чистополь 220 (4) при АО ВЛ 110 кВ Каргали-Чистополь 220 (3) и двойном ремонте ВЛ 220 кВ Нижнекамская- отп.1Камская ВЭС 3.5 и ВЛ 110 кВ Каргали-Чистополь 220 (5) превентивно снижаем вырабатываемую мощность Камской ВЭС 3.5 на 24 МВт.

2. При аварийном отключении АТ-1(2) ПС 220 кВ Чистополь-220 при ремонте ВЛ 220 кВ Нижнекамская-отп.1Камская ВЭС 3.5 возникает перегрузка АТ-2(1) ПС 220 кВ Чистополь-220 в размере 472 А, что составляет 106,7% от величины АДТН (442,2 А).

Решение: Для устранения перегрузки на АТ-1(2) ПС 220 кВ Чистополь-220 при АО АТ-2(1) ПС 220 кВ Чистополь-220 и ремонте ВЛ 220 кВ Нижнекамская – отпайка 1 Камская ВЭС 3.5 снижаем вырабатываемую мощность Камской ВЭС 3.5 на 14 МВт.

В. Дальнейшие перспективы исследования

В перспективе авторы планируют рассмотреть дополнительные варианты установки ветряной электростанции в Чистопольском энергорайоне Республики Татарстан и выбрать наиболее устойчивый к различным вариантам ремонтов и нормативных отключений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] ГОСТ Р 58670-2019 «Расчеты электроэнергетических режимов и определение технических решений при перспективном развитии энергосистем» Нормы и требования, Москва: Стандартинформ, 2019 г.
- [2] Итоговый отчёт о результатах и основных направлениях деятельности 2020, Министерство энергетики Российской Федерации, Москва, 2021, стр. 225-26, стр. 162.
- [3] Программный комплекс «RasrWin3» Руководство пользователя, Неуймин В.Г., Машалов Е.В., Александров А.С., Багрянцев А.А., 2019 г., 324 стр.
- [4] СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология».
- [5] Справочник по проектированию электрических сетей, Д.Л. Файбисович, издание 4-е, Москва: ЭНАС, 2012 г. Стр. 248-249.
- [6] Энергосистема: схемы замещения и модели элементов для расчета установившихся режимов (теория с примерами), 2007 г., 57 стр.

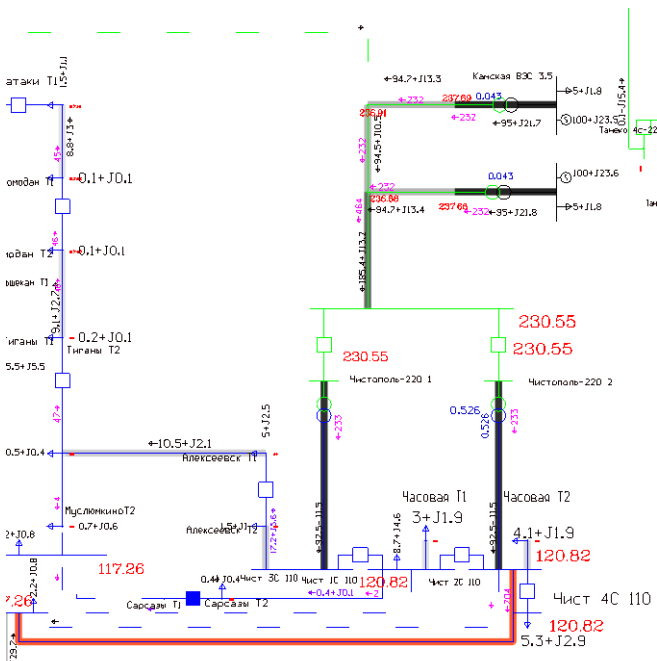


Рис. 5. Перегрузка ВЛ 110 кВ Каргали-Чистополь 220 (4) при аварийном отключении ВЛ 110 кВ Каргали-Чистополь 220 (3) и двойном ремонте ВЛ 220 кВ Нижнекамская- отпайка 1 Камская ВЭС 3.5 и ВЛ 110 кВ Каргали-Чистополь 220 (5)

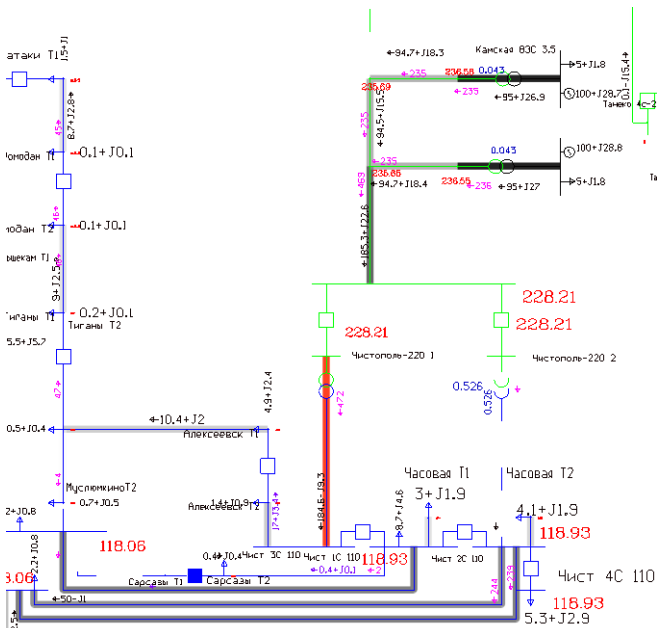


Рис. 6. Перегрузка АТ-1(2) ПС 220 кВ Чистополь-220 при аварийном отключении АТ-2(1) ПС 220 кВ Чистополь-220 при ремонте ВЛ 220 кВ Нижнекамская- отпайка 1 Камская ВЭС 3.5.