

Результаты экспериментальных исследований процессов при замыкании на землю в сети 6 кВ Оренбургского газоперерабатывающего завода

Михель А.А., ОАО «Газпром», Иванов А.В., ОАО «Газпром промгаз»
Сарин Л.И., Ильиных М.В., Ширковец А.И., «ПНП Болид»

Газоперерабатывающие заводы (ГПЗ), как одна из разновидностей газохимических комплексов, представляют собой сложный технический комплекс, отдельные установки и производства которого объединены единым технологическим процессом [1]. Для повышения надежности технологического процесса ГПЗ обычно состоит из нескольких (двух-трех) технологических линий. Каждая линия включает в себя пункт приема и подготовки газа, компрессорную станцию (КС), установку по отбензиниванию газа и газодифракционную установку (ГДУ). Технологическая схема переработки газа представлена на рис.1.

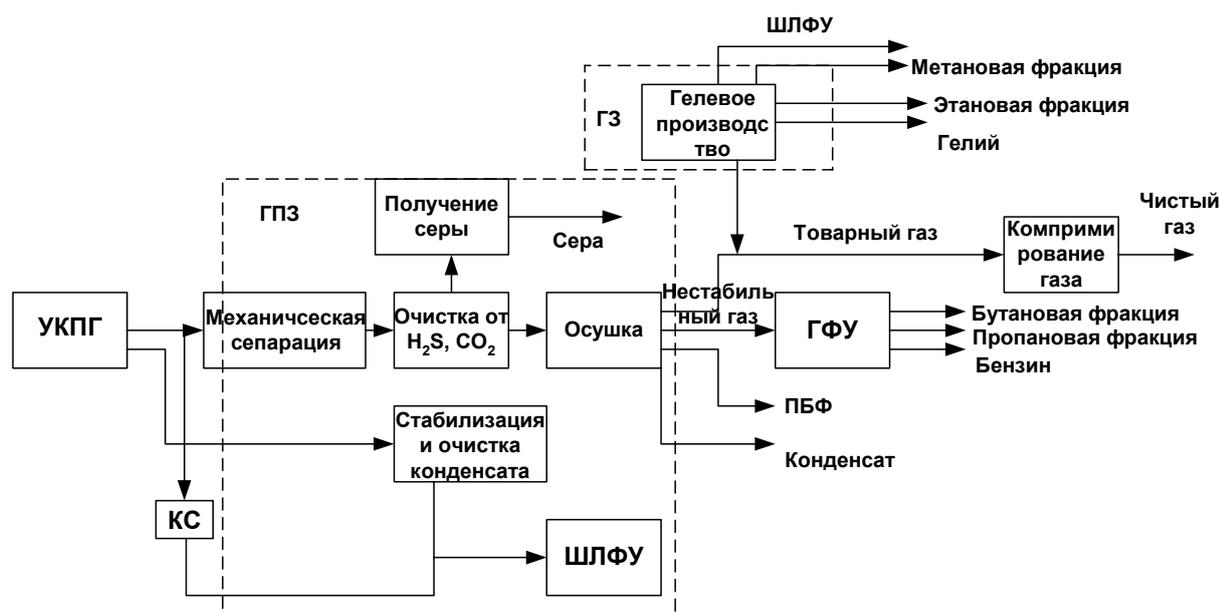


Рис.1 Технологическая схема переработки газа: УКПГ – установка комплексной подготовки газа; ПБФ – пропан-бутановая фракция; ШЛФУ – широкая фракция лёгких углеводородов; КС – компрессорная станция; ГПЗ – газоперерабатывающий завод; ГЗ – гелиевый завод; ГФУ – газодифракционирующие установки

Оренбургский газоперерабатывающий завод (ГПЗ) и Оренбургский гелиевый завод (ГЗ) образуют крупнейший газохимический комплекс России, с установленной мощностью электрооборудования более 220 МВт и 300 МВт соответственно.

Электрические сети Оренбургского ГПЗ включают в себя все классы среднего напряжения, но наиболее разветвлённой сетью является сеть 6 кВ, с подавляющим количеством электродвигательной (ЭД) нагрузки. Питание очередей Оренбургского ГПЗ в нормальном эксплуатационном режиме осуществляется отдельно от двух ГПП и шин главного распределительного устройства 6 кВ Каргалинской ТЭЦ. Для примера схема питания потребителей 6 кВ ГПП-1 приведена на рис.2.

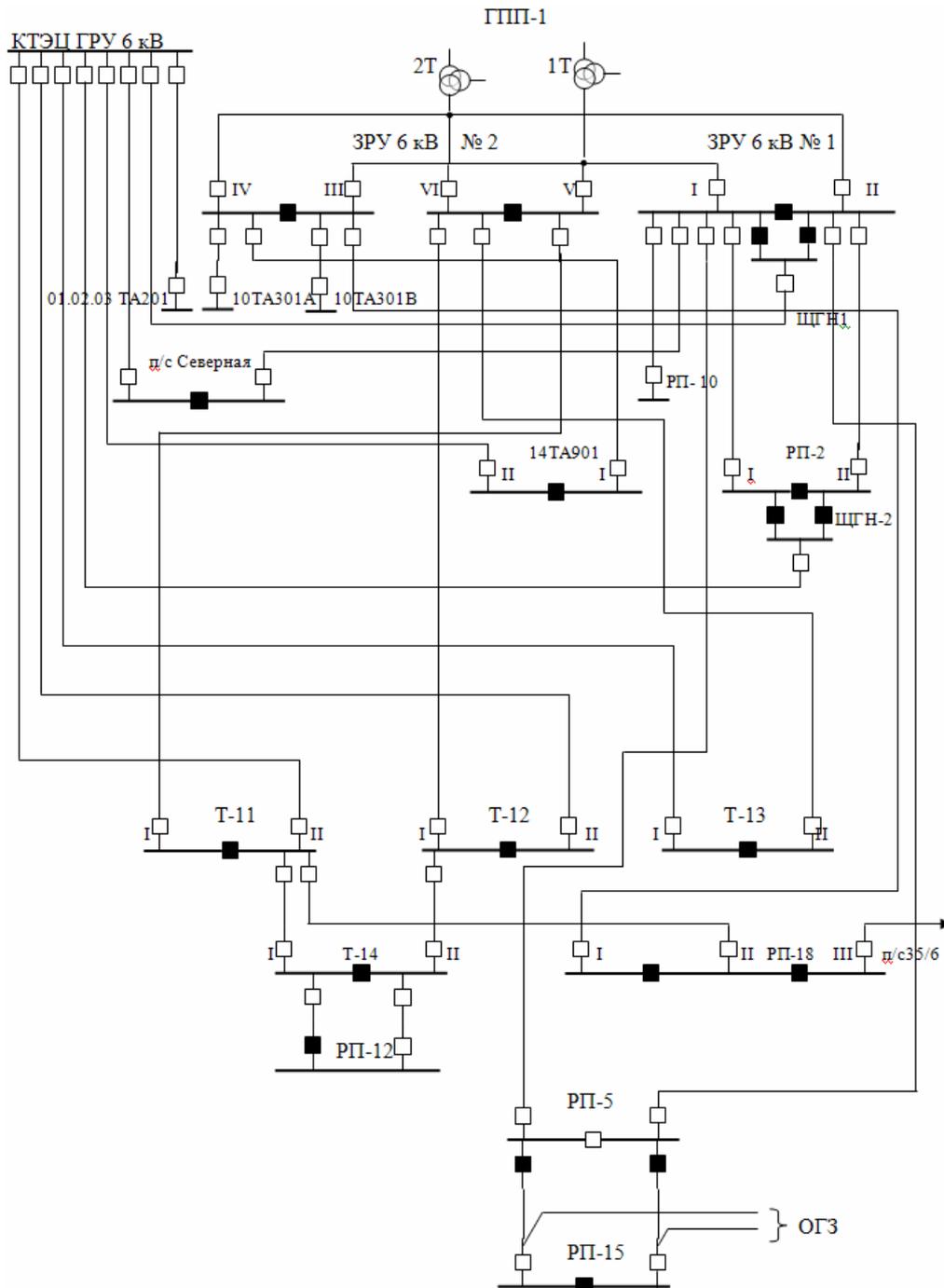


Рис. 2 Нормальный режим эксплуатации сети 6 кВ Оренбургского ГПЗ

Электрические сети 6 кВ Оренбургского ГПЗ и ГЗ оборудованы ЦРАП – цифровыми регистраторами аварийных процессов. ЦРАП в сети 6 кВ Оренбургского ГПЗ не осуществляет запуск по нулевой последовательности, ЦРАП в сети 6 кВ Оренбургского ГЗ позволяет

регистрировать переходные процессы с пуском по нулевой последовательности. Согласно данным срабатывания ЦРАП в сети 6кВ по протоколам, полученным от оперативно-эксплуатационного персонала Участка №4 цеха электроснабжения ГЗ, за 2005 и начало 2006 года произошло 18 аварийных отключений, из которых 10, т.е. более 50% – однофазные замыкания на землю. За рассматриваемый период из строя вышло два мощных электродвигателя и несколько кабелей, рис.3.



Рис.3 Сгоревший статор электродвигателя СТД-630 в результате ОЗЗ

Небольшая часть однофазных замыканий на землю (в основном на ВЛ) были самоустранимыми. Ущерб в результате ОЗЗ составил несколько миллионов рублей. К сожалению, эта статистика подтверждается и на Оренбургском ГПЗ.

Для разработки мероприятий по снижению аварийности в сети 6 кВ Оренбургского ГПЗ было принято решение о комплексных теоретических и экспериментальных исследованиях параметров сети в режиме однофазного замыкания на землю. Впервые в России на объекте газовой отрасли такого масштаба были проведены экспериментальные исследования параметров тока однофазного замыкания на землю в сети 6 кВ. Схема проведения эксперимента по замеру тока однофазного замыкания на землю и подключение осциллографов приведены на рис.4 [2].

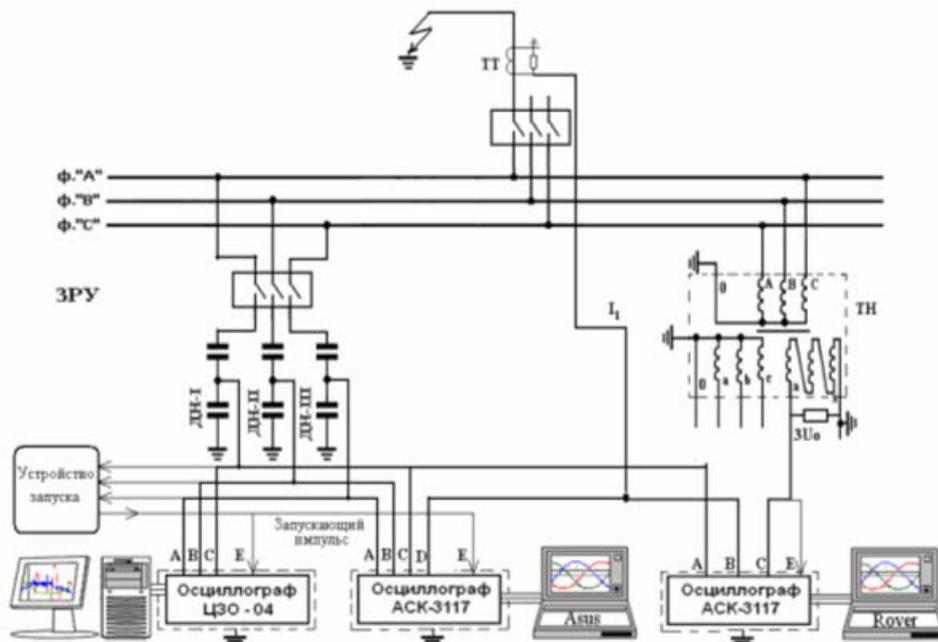


Рис. 4 Схема проведения эксперимента

В табл. 1 приведены расчетные (согласно конфигурации сети на момент проведения эксперимента) и замеренные значения емкостного тока однофазного замыкания на землю в сетях 6 кВ ГПП-1 и ГПП-2.

Таблица 1

Замеренные и расчетные значения 1-й гармоники (50 Гц) тока ОЗЗ в сети 6 кВ

Оренбургского ГПЗ, А

	ГПП 1				ГПП 2	
	Сеть 6 кВ 1Т-63		Сеть 6 кВ 2Т-63		Сеть 6 кВ 1Т-80	Сеть 6 кВ 2Т-80
	Без ДГК-1	С ДГК-1	Без ДГК-2	С ДГК-2		
Расчетный ток на момент замера, А	26,3	5,0	24,6	2,3	18,8	22,0
Замеренный ток, А	25,8	14,3	27,3	6,5	17,8	20,5

Сравнение данных в табл. 1 показывает, что полученные в результате эксперимента значения тока 50 Гц ОЗЗ близки к расчетным значениям емкостного тока ОЗЗ. Замеренные значения компенсированного емкостного тока в сети 6 кВ ГПП-1 с включенными ДГК коррелируются с расчетными значениями при следующих уточнениях:

- трансформаторы для выведения нейтрали в действительности не обладают указанным дросселирующим эффектом, т.е. значительно не снижают индуктивный ток ДГК. В таком случае замеренный и расчетный токи ОЗЗ на секциях с катушками соотнося как $I_{\text{РАСЧ}} 1\text{T}-63 = 10,9 \text{ А}$, $I_{\text{ЗАМЕР}} 1\text{T}-63 = 14,3 \text{ А}$, $I_{\text{РАСЧ}} 2\text{T}-63 = 7,4 \text{ А}$, $I_{\text{ЗАМЕР}} 2\text{T}-63 = 6,5 \text{ А}$;
- дросселирующий эффект имеет место, но отпайки ДГК фактически находятся в других положениях, отличных от тех, которые определены и выставлены в результате предыдущих

замеров. Иначе говоря, указатели положения «анцапф» катушек не соответствуют реальным индуктивным токам ДГК при ОЗЗ по данным оперативного персонала.

Тогда справедливо полагать следующие положения отпаяк катушек:

- ДГК-1 – 5 отпайка, $I_{отп\ddot{a}дгк-1} = 41,7 \text{ А}$;
- ДГК-2 – 3 отпайка, $I_{отп\ddot{a}дгк-2} = 32,6 \text{ А}$.

Соответственно можно рассчитать предполагаемые емкостные токи при такой компенсации в сети 6 кВ 1Т-63 МВА и 2Т-63 МВА, табл. 2.

Таблица 2

Замеренные и расчетные значения 1-й гармоники (50 Гц) тока ОЗЗ в сети 6 кВ ГПП-1 и ГПП-2 при «корректировке» тока компенсации ДГК-1 и ДГК-2

	ГПП 1				ГПП 2	
	Сеть 6 кВ 1Т-63		Сеть 6 кВ 2Т-63		Сеть 6 кВ 1Т-80	Сеть 6 кВ 2Т-80
	Без ДГК-1	С ДГК-1	Без ДГК-2	С ДГК-2		
Расчетный ток на момент замера, А	26,3	15,4	24,6	8,0	18,8	22,0
Замеренный ток, А	25,8	14,3	27,3	6,5	17,8	20,5
Δ , А	0,5	1,1	2,7	1,5	1,0	1,5

Дополнительно, в результате спектрального анализа был выделен ряд гармоник, наиболее выраженных в токе замыкания сети 6 кВ, табл. 3,4.

Таблица 3

Наиболее выраженные в токе ОЗЗ гармоники

ГПП-1				ГПП-2	
сеть 6 кВ 1Т-63		сеть 6 кВ 2Т-63		сеть 6 кВ 1Т-80	сеть 6 кВ 2Т-80
без ДГК-1	с ДГК-1	без ДГК-2	с ДГК-2		
5,7,19,23,29, 37	2,5,7,17,19, 23,29,37	5,7,23,25,27- 29,31,35,37	3,5,7,11,13,17, 19-37	5,7,11	

Значения величин гармоник тока ОЗЗ в % от составляющей 50 Гц для сетей 6 кВ ГПП-1 и ГПП-2 Оренбургского ГПЗ

№ гармоники	ГПП-1				ГПП-2	
	сеть 6 кВ 1Т-63		сеть 6 кВ 2Т-63		сеть 6 кВ 1Т-80	сеть 6 кВ 2Т-80
	без ДГК-1	с ДГК-1	без ДГК-2	с ДГК-2		
1	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
3	0,35	3,50	0,45	3,01	0,77	0,77
5	1,57	3,82	1,61	5,06	1,72	1,99
7	2,75	3,94	1,52	7,81	2,52	2,88
11	0,78	1,63	0,52	4,36	2,49	3,21
13	0,50	0,78	1,33	6,11	1,59	1,31
17	1,99	3,95	0,43	4,87	0,74	0,26
19	2,44	5,11	0,76	2,05	0,70	0,25
20	0,44	0,90	0,92	3,53	0,16	0,07
21	1,36	0,77	0,65	5,02	0,14	0,07
22	0,32	1,20	1,02	5,03	0,14	0,16
23	4,22	5,61	3,75	16,37	0,21	0,26
24	0,29	0,76	1,41	5,31	0,19	0,25
25	1,15	1,68	3,56	12,26	0,15	0,85
26	0,38	0,45	0,77	3,97	0,08	0,07
27	1,03	0,51	2,24	7,75	0,08	0,27
28	0,53	1,24	2,45	12,25	0,06	0,04
29	4,24	5,99	14,05	59,52	0,12	0,84
30	0,31	0,89	1,29	7,46	0,03	0,07
31	0,25	0,41	3,76	10,26	0,07	0,22
32	0,21	0,38	1,23	3,84	0,07	0,07
33	0,40	0,96	0,40	2,07	0,04	0,04
34	0,12	0,41	0,55	3,92	0,04	0,08
35	0,59	1,08	5,20	24,43	0,15	0,09
36	0,85	1,00	0,68	2,17	0,05	0,24
37	5,03	5,67	2,03	6,64	0,25	0,87

Примечание: серым цветом ячейки выделены, когда доля гармоники в токе ОЗЗ 50 Гц превышает 2%, за исключением 5 и 7 гармоник, явно выраженных во всей сети.

Результаты экспериментальных замеров токов ОЗЗ показали наличие в токе значительной доли высших гармоник. При наличии в токе значительной доли высших гармоник величины тока, полученные с помощью стрелочных и цифровых амперметров, недостоверны и не могут быть использованы для настройки тока компенсации ДГР, а определение емкостного тока ОЗЗ (тока компенсации ДГР) необходимо производить на основании осциллограмм с выделением гармоники 50 Гц и вычисления ее значения. Настройка тока компенсации ДГР должна быть проведена по величине тока основной гармоники 50 Гц.

Уровень перенапряжений при металлическом ОЗЗ практически не зависит от величины емкостного тока замыкания на землю и определяется величинами фазных напряжений в момент замыкания. Наибольший уровень зарегистрированных перенапряжений при металлическом ОЗЗ в сети 6 кВ рассматриваемых секций составил $2,38U_{ф}$. Анализ осциллограмм переходных процессов показал, что в момент замыкания в сигналах напряжения наблюдаются значительные свободные составляющие, что свидетельствует о слабом демпфировании сопротивлениями активных утечек колебательных процессов. Данный характер переходных процессов подтверждает возможность возникновения высоких значений перенапряжений при однофазных дуговых замыканиях на землю.

Основные экспериментальные выводы, полученные в работе, можно сформулировать следующим образом:

1. Величина емкостного тока ОЗЗ в сети 6 кВ Оренбургского ГПЗ может существенно изменяться при изменении состава работающего технологического оборудования. Для учета изменений можно использовать таблицы расчетных емкостных токов по секциям ГПП-1 и ГПП-2 полученные на основе удельных токов ОЗЗ. Экспериментальные и расчетные значения емкостного тока однофазного замыкания на землю для различных секций ГПП-1 и ГПП-2 достаточно близки.
2. Анализ полученных данных показывает, что указатели положения «анцапф» ДГК-1 и ДГК-2, установленных в сети 1Т-63 и 2Т-63 ГПП-1, могут быть неисправны. В настоящее время отпайки ДГК-1 и ДГК-2, вероятнее всего, находятся в следующих положениях: ДГК-1 – 5 отпайка, $I_{50\text{Гц}}=41.7$ А; ДГК-2 – 3 отпайка, $I_{30\text{Гц}}=32.6$ А.
3. Результаты экспериментальных замеров токов ОЗЗ показывают, что в токе ОЗЗ присутствует значительная доля высших гармоник, которые могут составлять до 25-70% от сигнала 50 Гц. Наиболее заметно выражены высшие гармоники в сети 6 кВ 2Т-63 МВА ГПП-1, причем их абсолютная величина практически не зависит от режима заземления нейтрали сети.
4. На 29-й гармонике тока ОЗЗ в сети 6 кВ 2Т-63 МВА с включенной ДГК-2 происходит резонансный рост гармонической составляющей емкостного тока: величина 29 гармоники в токе ОЗЗ достигает 3,9 А при токе 50 Гц 6,5 А, т.е. составляет 60% от составляющей основной частоты. Можно также констатировать, что включение катушек ведет к увеличению количественного содержания гармоник в токе ОЗЗ.
5. Настройка тока компенсации ДГК может быть проведена с достаточной степенью точности по величинам емкостных токов, полученным на основе опытных осциллограмм с учетом реального состояния сети. При наличии в токе значительной доли высших гармоник определение действительного тока ОЗЗ, который должен быть компенсирован током ДГК,

необходимо производить на основании осциллограмм с выделением гармоники 50 Гц и вычисления ее значения.

6. Эксперименты показали, что кратности перенапряжений при ОЗЗ в данном случае находятся в диапазоне $(1,85 \dots 2,38)U_{ф}$. Наибольший уровень зарегистрированных перенапряжений $(2,38U_{ф})$ был зафиксирован при металлическом замыкании на землю в сети 6 кВ 1Т-63 МВА при отключенной ДГК-1.

Литература:

1. 1.Меньшов Б.Г., Ершов М.С., Яризов А.Д. Электротехнические установки и комплексы в нефтегазовой промышленности: Учеб. Для вузов. – М.: ОАО «Издательство «Недра», 2000. – 487 с.; ил.

2. Ильиных М.В. Система регистрации перенапряжений в сетях 6-35 кВ. Четвертая Всероссийская Научно-техническая конференция «Ограничение перенапряжений. Режимы заземления нейтрали. Электрооборудование сетей 6-35 кВ»: Труды Третьей Всероссийской научно-технической конференции. – Новосибирск, 2004.