

Эксперименты показывают, что количественные расхождения частоты и амплитуды вынужденных колебаний ВЛАД от расчетных достигают 30–40%, что объясняется принятыми упрощающими допущениями. Однако, как свидетельствуют эксперименты, для режима вынужденных колебаний (рисунков 7) полученные аналитические зависимости дают правильное представление о характере процессов и физических свойствах ВЛАД.

#### Список литературы

1. Аипов Р.С. Линейные электрические машины и линейные асинхронные электроприводы технологических машин [Текст] / Р.С. Аипов, А.В. Линенко – Уфа: Башкирский ГАУ, 2013. – 308 с.
2. Веселовский О.Н. Линейные асинхронные двигатели [Текст] / О.Н. Веселовский, А.Ю. Коняев, Ф.Н. Сарапулов. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 256 с.
3. Аипов Р.С. Основы построения и теории линейных асинхронных приводов с упругими накопи-

телями энергии [Текст] / Р.С. Аипов. – Уфа: БашГАУ, 2006. – 295 с.

4. Бессекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования [Текст] / В.А. Бессекерский, Е.П. Попов. – М.: Профессия, 2002. – 752 с.

#### References

1. Aipov R.S. Linejnye jelektricheskie mashiny i linejnye asinhronnye jelektroprivody tehnologicheskikh mashin [Tekst] / R.S. Aipov, A.V. Linenko. – Ufa: Bashkirskij GAU, 2013. – 308 s.
2. Veselovskij O.N. Linejnye asinhronnye dvigateli [Tekst] / O.N. Veselovskij, A.Ju. Konjaev, F.N. Sarapulov. – M.: Jenergoatomizdat, 1991. – 256 s.
3. Aipov R.S. Osnovy postroenija i teorii linejnyh asinhronnyh privodov s uprugimi nakopiteljami jenergii [Tekst] / R.S. Aipov. – Ufa: BashGAU, 2006. – 295 s.
4. Bessekerskij V.A. Teorija sistem avtomaticheskogo regulirovanija [Tekst] / V.A. Bessekerskij, E.P. Popov. – M.: Professija, 2002. – 752 s.



**Лопатин В.П.**  
**Lopatin V.P.**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника и электрооборудование предприятий» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Россия, г. Уфа



**Ишмухамедов И.К.**  
**Ishmukhamedov I.K.**

магистрант кафедры «Электротехника и электрооборудование предприятий» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Россия, г. Уфа

УДК 621.316.37

## СОВРЕМЕННОЕ ЭЛЕГАЗОВОЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ПОДСТАНЦИЙ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ

В современном элегазовом высоковольтном электрооборудовании подстанций системы электро-снабжения элегаз используется для электрической изоляции токоведущих частей и как средство гашения электрической дуги в коммутационных аппаратах. В статье приведены результаты обзора и анализа информации об элегазовых силовых трансформаторах, выключателях, комплектных распределительных устройствах и газонаполненных токопроводах. Отображены особенности эксплуатации высоковольтных элегазовых выключателей, заключающиеся в том, что под влиянием высокой температуры электриче-

ской дуги, возникающей при коммутации цепи, происходит частичное разложение элегаза с образованием химически активных соединений, некоторые из которых являются токсичными. Продукты разложения могут вызвать разрушение изоляционных и конструкционных материалов коммутационного аппарата и при достаточной концентрации токсичных продуктов разложения оказывать отрицательное воздействие на здоровье обслуживающего персонала подстанции при попадании элегаза в атмосферу помещения. Большая часть продуктов разложения и влага адсорбируются специальными адсорбентами, например, активированным оксидом алюминия, помещенным в корпус выключателя, или молекулярными сетками. При разложении элегаза кроме активных газов образуются порошкообразные металлические фториды с низкой электропроводностью. Продукты разложения элегаза содержат также углерод, кремний, кислород, водород, вольфрам, медь и другие элементы, что обусловлено конструкционными материалами выключателя.

Предложена методика контроля состояния элегаза в высоковольтном выключателе при воздействии температуры электрической дуги, в которой учитываются факторы, влияющие на процесс разложения элегаза: энергия и время горения дуги, значение тока короткого замыкания, количество коммутаций и давление элегаза. Разработана компьютерная программа, позволяющая выполнить расчет концентраций продуктов разложения элегаза для различных сочетаний исходных факторов. Система контроля может быть задействована в автоматизированной системе управления электроснабжением объекта на базе современных средств телемеханики, позволяющих автоматически контролировать параметры процесса коммутации цепи.

*Ключевые слова:* подстанция, электрооборудование, элегаз, продукты разложения, концентрация, программа.

## MODERN GAS-INSULATED SUBSTATIONS ELECTRIC POWER SYSTEMS AND ITS OPERATING FEATURES

In modern gas-insulated high-voltage electric equipment of substations of system of power supply sulfur hexafluoride it is used for electric isolation of current carrying parts and as means of clearing of an electric arch in switching devices. Results of the review and analysis of information on gas-insulated power transformers, switches, complete distributing devices and gas-filled current distributors are given in article. The features of operation of high-voltage gas-insulated switches which are that under the influence of high temperature of the electric arch arising when switching a chain there is a partial decomposition of an sulfur hexafluoride to formation of chemically active connections are displayed, some of which are toxic. Products of decomposition can cause destruction of insulating and constructional materials of the switching device and at sufficient concentration of toxic products of decomposition to make negative impact on health of the service personnel of substation at hit of an sulfur hexafluoride in the atmosphere of the room. The most part of products of decomposition and moisture is adsorbed by special adsorbents, for example, the activated aluminum oxide placed in the switch case, or molecular grids. At decomposition of a sulfur hexafluoride except active gases powdery metal fluorides with low conductivity are formed. Products of decomposition of a sulfur hexafluoride contain also carbon, silicon, oxygen, hydrogen, tungsten, copper and other elements that is caused by constructional materials of the switch.

The technique of control of a condition of an sulfur hexafluoride in the high-voltage switch at influence of temperature of an electric arch in which the factors influencing process of decomposition of an sulfur hexafluoride are considered is offered: energy and time of burning of an arch, value of current of short circuit, quantity of switch and pressure of an sulfur hexafluoride. The computer program allowing executing calculation of concentration of products of decomposition of a sulfur hexafluoride for various combinations of initial factors is developed. The monitoring system can be involved in an automated control system for power supply of object on the basis of the modern means of telemechanics allowing controlling automatically parameters of process of switching of a chain.

*Key words:* substation, electrical, sulfur hexafluoride, decomposition products, the concentration of the program.

Электрические подстанции, входящие в систему электроснабжения промышленных предприятий в последние годы, комплектуются современным высоковольтным электрооборудованием с элегазовым заполнением. К нему относятся: силовые трансформаторы, комплектные распределительные устрой-

ства, высоковольтные выключатели, выключатели нагрузки, трансформаторы тока и напряжения, электрические конденсаторы и токопроводы [1].

Элегаз  $SF_6$  (шестифтористая сера) в высоковольтном электрооборудовании подстанций используется в качестве изоляционной среды и средства, обеспечивающего эффективное дугогашение в коммутационных аппаратах. При давлении элегаза 0,3–0,4 МПа его электрическая прочность выше, чем у трансформаторного масла.

Элегаз обладает повышенной теплоотводящей способностью и является хорошей дугогасительной средой, позволяющей производить отключение больших токов короткого замыкания при больших скоростях восстановления напряжения. Кроме перечисленных свойств следует отметить высокую термостойкость элегаза (до 800 °С). Он не образует взрывоопасных смесей и является хорошим акустическим изолятором, не подвергается старению, химически не активен [2].

Главной особенностью эксплуатации элегазового электрооборудования является частичное разложение элегаза при воздействии дугового или коронного разрядов. Продукты разложения могут вызвать разрушение изоляционных и конструкционных материалов коммутационного аппарата и оказывать отрицательное воздействие на здоровье обслуживающего персонала подстанции.

Кроме того, следует отметить низкую температуру сжижения элегаза – минус 64 °С, которая

при повышении давления увеличивается. Поэтому эксплуатация выключателя при таких условиях требует устройства подогрева.

*Цель.* Выполнить обзор и анализ существующего высоковольтного элегазового электрооборудования подстанций системы электроснабжения предприятий, разработать методику диагностики состояния элегаза при воздействии электрической дуги, включая контроль концентраций продуктов разложения элегаза.

В элегазовых выключателях, используемых на современных электрических подстанциях, гашение электрической дуги происходит при ее интенсивном охлаждении потоком газа. В элегазе канал столба дуги обладает высокой электрической проводимостью, и его разрушение не происходит до естественного перехода тока через нуль, что исключает появление перенапряжений, например, при отключении ненагруженных трансформаторов. Высокая способность элегаза гасить дугу обусловлена его свойством захватывать свободные электроны перед переходом тока через нуль. При этом количество свободных электронов в столбе дуги уменьшается, и дуга гаснет [3].

Элегазовый выключатель представляет собой замкнутую систему без выброса газа наружу. Элегаз в выключателе находится при небольшом избыточном давлении. Бакый элегазовый выключатель типа ВГБ фирмы «Электроаппарат» (г. Санкт-Петербург) изображен на рисунке 1.

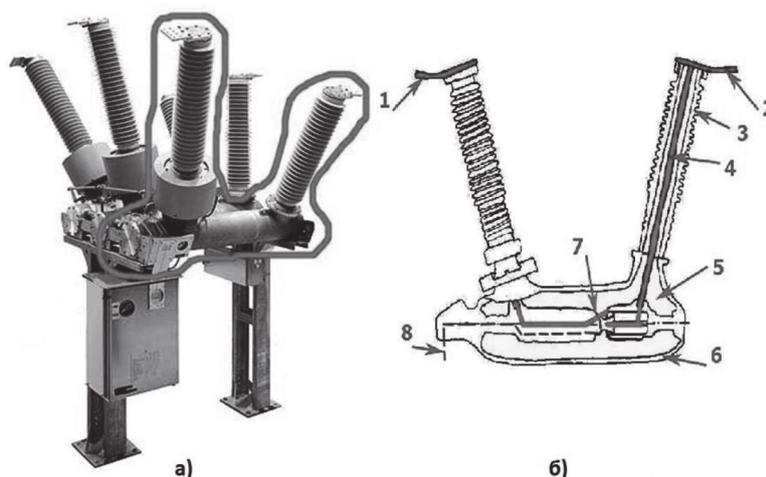


Рис. 1. Бакый элегазовый выключатель  
а) внешний вид; б) вид в разрезе

1, 2 – выводы для присоединения высоковольтного провода; 3 – изолятор;  
4 – токопровод; 5 – элегаз; 6 – бак; 7 – контакты; 8 – механическая связь с приводом

Элегазовые выключатели выпускают отечественные предприятия «Уралэлектротяжмаш», «Электроаппарат», «Завод электротехнического оборудования» (ЗЭТО), а также фирмы «ABB», «ABB-SACE», «Schneider Electric» и др.

В элегазовом выключателе серии LF 6,10 кВ фирмы «Schneider Electric» применен принцип вращения дуги в элегазе и принцип автогенерации давления, что создает наилучшие условия для гашения дуги. Повышение эффективности дугогашения способствует увеличению напряжения на один разрыв выключателя [3].

Анализ технических характеристик различных

фирм – производителей элегазовых выключателей позволяет сделать вывод, что элегазовые выключатели компании «ABB» имеют наибольшее быстродействие и выдерживаемое напряжение импульса, а компании «Siemens» – наибольшие токи отключения и термической стойкости.

В электроэнергетике начали применяться герметизированные комплектные распределительные устройства (КРУЭ) (см. рисунок 2), в которых все электрооборудование (токоведущие части, выключатели, разъединители и др.) расположено внутри герметической оболочки, заполненной элегазом под давлением.

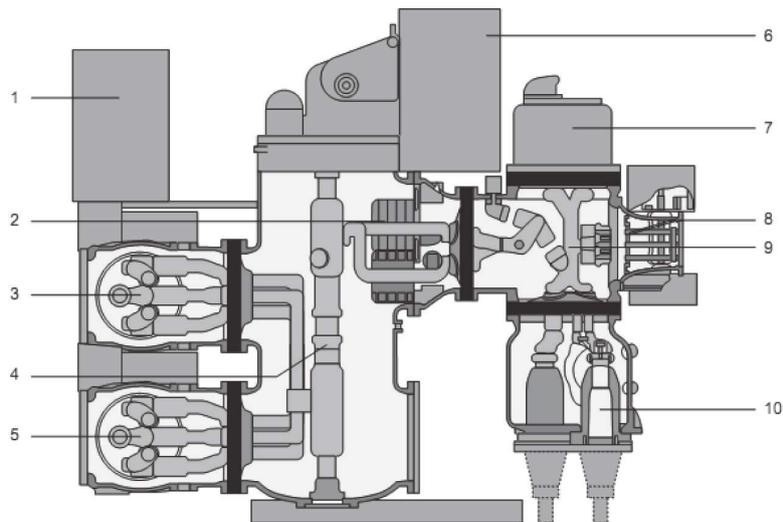


Рис. 2. Ячейка КРУЭ компании «Siemens» с двойной системой сборных шин

1 – шкаф управления; 2 – трансформатор тока; 3, 5 – сборные шины с разъединителями и заземлителями; 4 – дугогасительная камера; 6 – пружинный привод; 7 – трансформатор напряжения; 8 – быстродействующий заземлитель; 9 – модуль линии с разъединителем и заземлителем; 10 – концевая кабельная муфта

Элегазовые комплектные распределительные устройства уменьшают площади и объемы подстанций, занимаемые оборудованием, повышают уровень защиты персонала от воздействия электрических и магнитных полей и его электробезопасность, устраняют атмосферное воздействие на изоляцию электрооборудования. Кроме того, снижается уровень шума при работе оборудования (элегаз хороший акустический изолятор), устраняются радиопомехи, обеспечивается высокая надежность и сейсмостойкость.

КРУЭ изготавливаются как комплекс различных функциональных ячеек, каждая из которых выполняет функцию какой-либо электрической схемы распределительного устройства. Ячейки, выполняются в трехфазном исполнении и состоят из отдельных блоков, заключенных в герметичную металлическую оболочку цилиндрической или шаровой формы, заполненной элегазом при небольшом избыточном давлении. По функциональному назначению

ячейки КРУЭ могут быть линейными и секционными, с одной или двумя системами сборных шин.

При эксплуатации КРУЭ следует учитывать возможность внутреннего короткого замыкания на корпус при горении дуги и повышения давления в оболочке. В связи с этим повышаются требования к оболочкам элементов. Для обеспечения электробезопасности предусмотрено заземление конструкции отдельных элементов и всего распределительного устройства.

КРУЭ с элегазовой изоляцией выпускают «Завод электротехнического оборудования» (ЗЭТО), фирмы «ABB», «Hyundai», «Siemens» и др.

Из сопоставления основных технических характеристик распределительных устройств (см. табл.) следует, что КРУЭ компании «ABB» по токам отключения короткого замыкания превосходят другие компании, но улучшение характеристик привело к увеличению габаритов распределительного устройства.

## Технические характеристики современных КРУЭ

№	Технические характеристики:	Компания:		
		ABB	Hyundai	Siemens
1	Расчетное номинальное напряжение, кВ	72,5	72,5	72,5
2	Расчетное кратковременное испытательное переменное напряжение (1 мин.), кВ	140	140	140
3	Расчетное выдерживаемое напряжение грозового импульса (1,2 / 50 мкс), кВ	325	325	325
4	Расчетный рабочий ток сборной шины/фидера, А	2500	2000	2500
5	Расчетный ток отключения короткого замыкания, кА	50	40	31,5
6	Расчетный ударный ток, кА	125	81,9	85
7	Расчетный кратковременный ток термической стойкости, кА	31,5	31,5	31,5
8	Привод силового выключателя	пружинно-гидравлический	пружинно-моторный	пружинный
9	Габариты ячейки, мм/мм/мм	1000/3600 /2700	-	650/800 /1200

Силовые трансформаторы с элегазовой изоляцией (см. рисунок 3) впервые были разработаны в США фирмой «Вестингауз» в конце 50-х годов прошлого столетия. Широкое использование в электроэнергетике элегазового оборудования привело к воз-

врату интереса к данному виду трансформаторов. Кроме силовых трансформаторов элегаз используется в измерительных трансформаторах тока и напряжения.

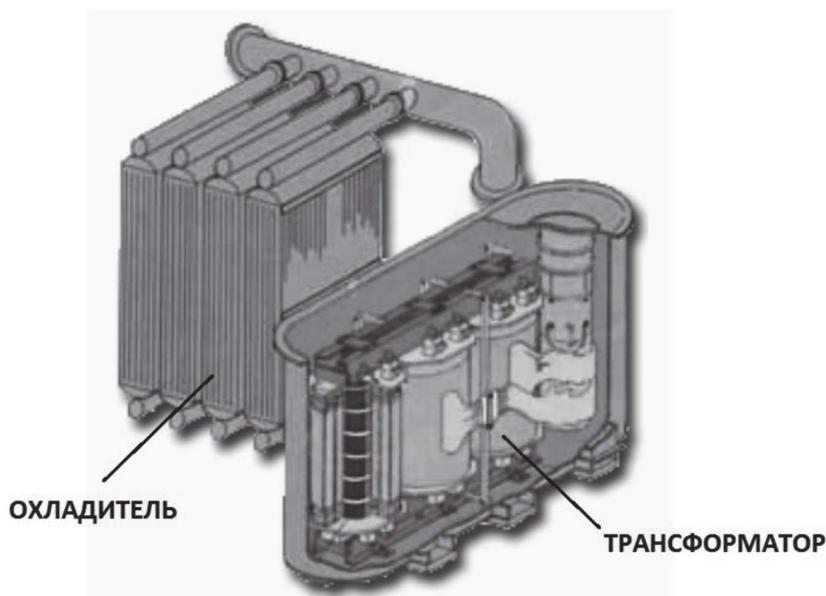


Рис. 3. Конструкция элегазового силового трансформатора

Элегазовые трансформаторы являются пожаро- и взрывобезопасными, малошумными, обладают высоким уровнем герметичности. Проверка исправности и анализ причин неисправности может производиться с использованием газовой хроматографии. Если в силовом элегазовом трансформаторе возникнет электрическая дуга, то из-за сжимаемости элегаза внутреннее давление в корпусе повысится намного меньше, чем в масляном. Это снижает угрозу потери герметичности бака [4].

Охлаждение элегазовых трансформаторов происходит в процессе принудительной циркуляции элегаза через охлаждающие устройства выносного типа. Широко используется система водяного охлаждения. Элегазовые силовые и измерительные трансформаторы производят такие фирмы, как

«Электрум», «Завод электротехнического оборудования», «Уралэлектротяжмаш», «Toshiba», «ABB», «Siemens» и др.

Широкому внедрению элегазового оборудования на современных электрических подстанциях будет способствовать использование газоизолированных линий (ГИЛ), в которых токоведущий элемент расположен в оболочке, заполненной элегазом под избыточным давлением [5]. Это позволит обеспечить внутривыносное соединение элегазового электрооборудования в КРУЭ и приведет к снижению электрических потерь при передаче электроэнергии на большие расстояния.

В случае однофазного исполнения газоизолированной линии токоведущая жила и оболочка располагаются коаксиально (см. рисунок 4).

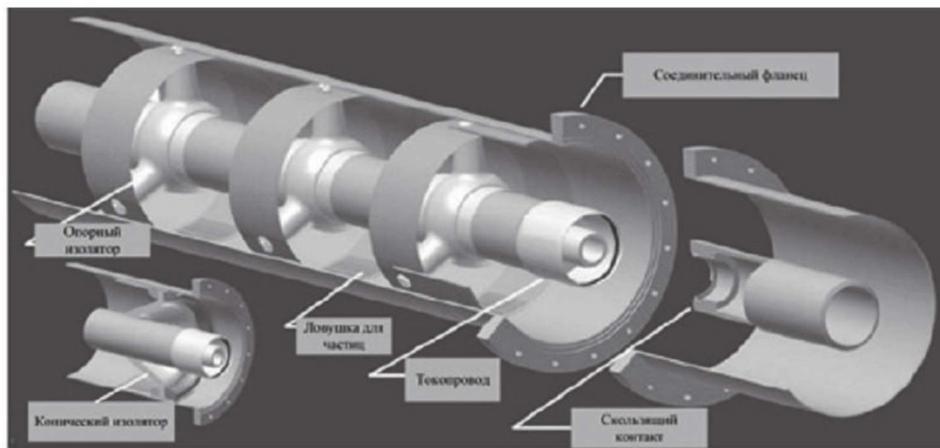


Рис. 4. Газоизолированные линии (ГИЛ)

Стальная или алюминиевая оболочка обеспечивает герметизацию газового объема, защиту от воздействия электрических и магнитных полей. Для компенсации теплового расширения корпуса используются специальные сальники или скользящая система контактов.

Говоря об экологических аспектах особенностей эксплуатации элегазового электрооборудования, следует иметь в виду то, что в высоковольтных выключателях под воздействием высокой температуры электрической дуги происходит частичное разложение элегаза и образование химически активных соединений, которые могут вызывать разрушение изоляционных и конструктивных материалов электрического аппарата. Кроме того, возможно образование токсичных соединений, которые при достаточной концентрации будут оказывать отрицательное влияние на здоровье обслуживающего персонала подстанции при попадании элегаза в атмосферу помещения.

Газообразные продукты разложения элегаза в высоковольтных выключателях, установленные с использованием хроматографии и масс-спектрометрии, в зависимости от внешних условий (наличия или отсутствия адсорбента) могут иметь следующий состав: фтористоводородную кислоту – HF; диоксид углерода – CO<sub>2</sub>; диоксид серы – SO<sub>2</sub>; тетрафторид углерода – CF<sub>4</sub>; тетрафторид кремния – SiF<sub>4</sub>; фторид тионила – SOF<sub>2</sub>; фторид двуокиси серы – SO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>; дисерный декафторид – S<sub>2</sub>F<sub>10</sub>; тетрафторид серы – SF<sub>4</sub> и др. [6, 7]. Продукты разложения элегаза содержат также углерод, кремний, кислород, водород, вольфрам, медь и другие элементы, что обусловлено конструктивными материалами, из которых изготовлено электрооборудование, в том числе и контакты выключателя. Большая часть продуктов разложения и влага адсорбируются специальными адсорбентами, например, активированным оксидом алюминия, помещенным в корпус выключателя. При разложении элегаза кроме активных газов обра-

зуются порошкообразные металлические фториды с низкой электропроводностью, которые аккумулируются в специальных полостях дугогасительной камеры и не влияют на электробезопасность.

При оценке токсичности газообразных продуктов разложения элегаза следует выделить фторид тионила  $\text{SOF}_2$ , который характеризуется высокой нормой выработки (объем в литрах на энергию дуги в килоджоулях) в сочетании с его уровнем токсичности. Вкладами в общую токсичность продукта разложения элегаза серного фторида ( $\text{SO}_2\text{F}_2$ ) и дисерного декафторида ( $\text{S}_2\text{F}_{10}$  (самого ядовитого)) можно пренебречь [6].

Необходимость контроля уровня загрязнения элегаза в выключателе продуктами разложения при воздействии электрической дуги обусловлена следующим факторами:

- возможность ухудшения состояния конструктивных и изоляционных материалов при воздействии химически активных продуктов разложения;
- возможностью попадания элегаза и газообразных продуктов разложения в атмосферу помещения электрической подстанции, например, при утечке элегаза из корпуса выключателя, а также при работе с элегазом при техническом обслуживании коммутационного аппарата.

Предельно допустимая концентрация элегаза в производственных помещениях, где рабочие находятся до восьми часов в день пять раз в неделю не должна превышать ( $6000 \text{ мг/м}^3$ ) [6]. Загрязненный продуктами разложения элегаз может быть очищен и пущен в повторную эксплуатацию при соблюдении критериев качества.

Существуют приборы фирмы «DIL0», которые используются для непрерывного контроля окружающего воздуха в помещении электрической подстанции на наличие недопустимо высокого содержания элегаза, а также для выявления утечек элегаза из электрооборудования. Они подают сигнал при концентрации элегаза в контрольной точке выше 2,0 % от объема помещения.

Для оперативного контроля состояния элегаза в выключателе при воздействии электрической дуги разработана программа, позволяющая выполнить расчет концентраций продуктов разложения элегаза. В качестве факторов, влияющих на интенсивность процесса разложения элегаза, использованы энергия электрической дуги, ток короткого замыкания, количество циклов коммутации и давление элегаза в выключателе. При этом рассмотрены варианты наличия или отсутствия адсорбента. Алгоритм расчета представлен на рисунке 5.

В программу вводятся следующие исходные

данные: объем корпуса выключателя –  $V_в$ ; давление элегаза в выключателе –  $P_в$ ; ток короткого замыкания –  $I_{кз}$ ; напряжение дуги –  $U_д$ ; время горения дуги –  $t_д$ ; количество коммутаций –  $N$ .

Объем элегаза  $V_{эл}$  в корпусе выключателя в литрах определяется по формуле [2]:

$$V_{эл} = \frac{V_в \cdot P_в}{P_{oc}} \cdot 10^3, \quad (1)$$

где  $P_{oc}$  – давление окружающей среды, Па.

Энергия дуги электрической ( $W_д$ ) определяется по формуле:

$$W_д = I_{кз} \cdot U_д \cdot t_д \cdot N. \quad (2)$$

Концентрацию ( $C_i$ )  $i$ -го продукта разложения элегаза можно определить по формуле:

$$C_i = \frac{K \cdot E_i \cdot W_д}{V_{эл}} \cdot 100, \quad (3)$$

где  $K$  – коэффициент, учитывающий наличие адсорбента;  $E_i$  – норма выработки  $i$ -го вещества.

Остаточный объем элегаза ( $V_{эл}'$ ) в выключателе после очередной коммутации цепи может быть найден по формуле:

$$V_{эл}' = \frac{V_{эл} \cdot (100 - \sum_{i=1}^n C_i)}{100}. \quad (4)$$

При увеличении количества коммутаций элегазового выключателя объем продуктов разложения возрастает (на 1–2 %), а остаточный объем чистого элегаза уменьшается.

Например, если выполнить расчет продуктов разложения для исходных данных:  $U_д = 400 \text{ В}$ ,  $t_д = 30 \text{ мс}$ ,  $N = 2$ ,  $I_{кз} = 30 \text{ кА}$ ,  $P_в = 250 \text{ кПа}$ , то получим уменьшение объема чистого элегаза на 1 %.

В работе [8] регламентируется количество примесей, находящихся в элегазе, превышение которого влияет на коммутационные свойства и техническое состояние выключателя. Эта цифра не должна превышать 5–10 % от общего объема выключателя, для различных технических характеристик аппарата.

Пример результатов компьютерной обработки данных приведен на рисунке 6.

Система может быть задействована в автоматизированной системе управления электроснабжением на базе современных средств телемеханики, позволяющих автоматически вводить исходные данные в компьютерную программу, с учетом фактических значений параметров, характеризующих процесс коммутации цепи.

Оперативный контроль состояния элегаза в высоковольтном коммутационном электрооборудовании при его эксплуатации будет способствовать оптимизации сроков и объемов технического обслуживания и ремонта.

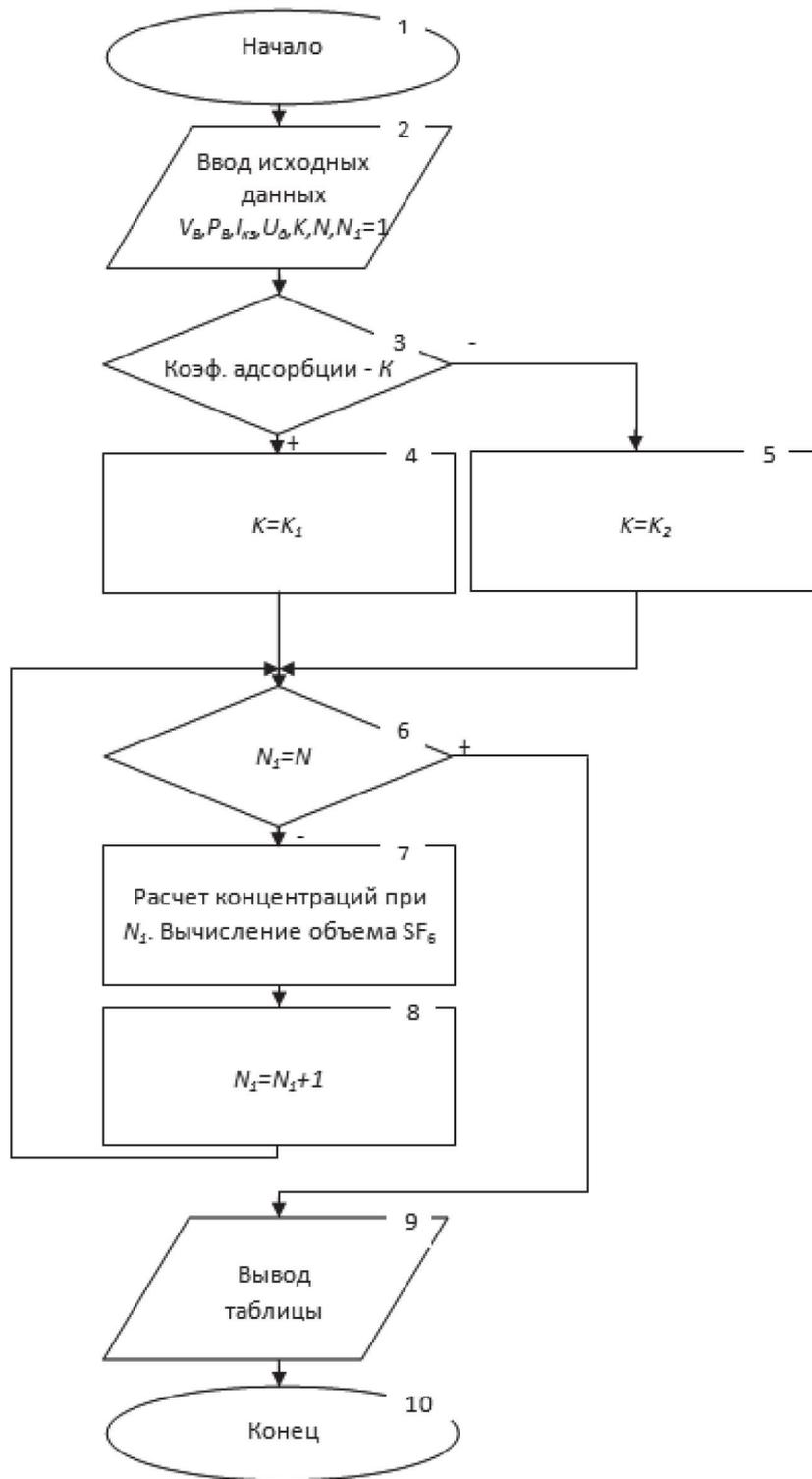
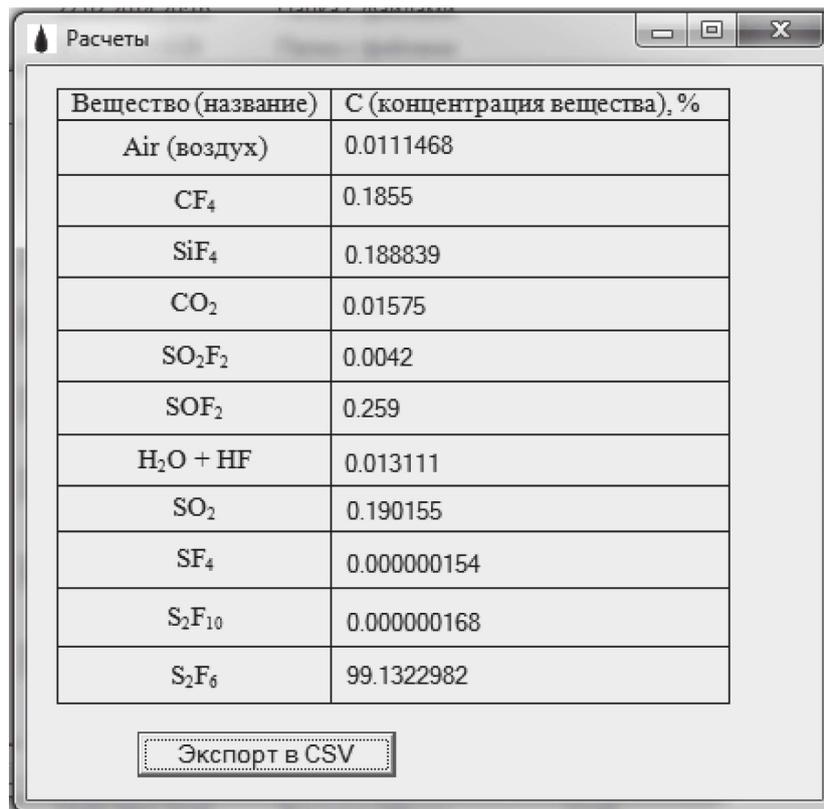


Рис. 5. Алгоритм расчета концентраций продуктов разложения элегаза



Вещество (название)	С (концентрация вещества), %
Air (воздух)	0.0111468
CF <sub>4</sub>	0.1855
SiF <sub>4</sub>	0.188839
CO <sub>2</sub>	0.01575
SO <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	0.0042
SOF <sub>2</sub>	0.259
H <sub>2</sub> O + HF	0.013111
SO <sub>2</sub>	0.190155
SF <sub>4</sub>	0.000000154
S <sub>2</sub> F <sub>10</sub>	0.000000168
S <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	99.1322982

Экспорт в CSV

Рис. 6. Результаты компьютерной обработки данных

**Выводы:**

1. Выполнен обзор и анализ современного элегазового высоковольтного электрооборудования подстанций системы электроснабжения промышленных объектов.

2. Разработан алгоритм программы расчета концентраций продуктов разложения элегаза при воздействии электрической дуги в элегазовом выключателе и выполнена экспериментальная проверка.

3. При увеличении количества коммутаций элегазового выключателя объем продуктов разложения возрастает (на 1–2 %), а остаточный объем чистого элегаза уменьшается.

4. Система диагностики состояния элегаза в высоковольтном выключателе может быть использована для оперативного контроля в автоматизированной системе управления электроснабжением.

*Список литературы*

1. Шабанов В.А. Высоковольтное электрооборудование подстанций промышленных предприятий: учеб. пособие [Текст] / В.А. Шабанов, В.П. Лопатин. – Уфа: РИЦ УГНТУ. – 2013. – 157 с.

2. Кох Д. Свойства SF<sub>6</sub> и его использование в коммутационном оборудовании среднего и высоко-

го напряжения [Текст] / Д. Кох // Техническая кол- лекция Schneider Electric. – 2003. – № 2. – С. 22.

3. *Электрические* и электронные аппараты. В 2 т. – Т 1. Электромеханические аппараты: учебник для студ. высш. учеб. заведений [Текст] / Под ред. А.Г. Годжелло, Ю.К. Розанова. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 352 с.

4. Гура Ю.Л. Силовой трансформатор с элегазовым заполнением [Текст] / Ю.Л. Гура // Электрик. – 2009. – № 1–2, 9.

5. Вариводов В.Н. Компактные высоковольтные линии электропередачи [Текст] / В.Н. Вариводов // Электро. – 2006. – № 2. – С. 2–6.

6. *Свойства* элегаза и его использование в коммутационном оборудовании (на базе технического отчета Международной электротехнической комиссии МЭК 1634 «Оборудование высокого напряжения – использование элегаза (SF<sub>6</sub>) в аппаратах высокого напряжения») [Электронный ресурс]. – URL: ukrelektrik.com (дата обращения 02.09.2013).

7. Аракелян В.Г. Исследование распада шестифтористой серы в разряде [Текст] / В.Г. Аракелян, И.М. Бортник // Электротехническая промышленность. Сер. АВН. – 1976. – Вып. 5 (61). – С. 10.

8. *РД-16.066-05*. Элегазовое электротехническое оборудование. Технические требования к производ-

ству для обеспечения качества элегаза в оборудовании и меры обеспечения санитарно-гигиенической и экологической безопасности [Текст]. – М., 2005. – 47 с.

#### References

1. *Shabanov V.A.* Vysokovol'tnoe jelektrrooborudovanie podstancij promyshlennyh predpriyatij: ucheb. posobie [Текст] / V.A. Shabanov, V.P. Lopatin. – Ufa: RIC UGNTU. – 2013. – 157 s.
2. *Koh D.* Svojstva SF6 i ego ispol'zovanie v kommutacionnom oborudovanii srednego i vysokogo naprjazhenija [Текст] / D. Koh // Tehniceskaja kollekcija Schneider Electric. – 2003. – № 2. – S. 22.
3. *Jelektricheskie i jelektronnye apparaty.* V 2 t. – T 1. Jelektromehaniceskie apparaty: uchebnik dlja stud. vyssh. ucheb. zavedenij [Текст] / Pod red. A.G. Godzhello, Ju.K. Rozanova. – М.: Izdatel'skij centr «Академия», 2010. – 352 с.
4. *Gura Ju.L.* Silovoj transformator s jelegazovym zapolnieniem [Текст] / Ju.L. Gura // Jelektrik. – 2009. – № 1–2, 9.
5. *Varivodov V.N.* Kompaktnye vysokovol'tnye linii jelektrperedachi [Текст] / V.N. Varivodov // Jelektro. – 2006. – № 2. – S. 2–6.
6. *Svojstva jelegaza i ego ispol'zovanie v kommutacionnom oborudovanii (na baze tehniceskogo otcheta Mezhdunarodnoj jelektrtehniceskoj komissii MJeK 1634 «Oborudovanie vysokogo naprjazhenija – ispol'zovanie jelegaza (SF6) v apparatah vysokogo naprjazhenija») [Jelektronnyj resurs].* – URL: ukrelektrik.com (data obrashhenija 02.09.2013).
7. *Arakeljan V.G.* Issledovanie raspada shestifloristoj sery v razrjade [Текст] / V.G. Arakeljan, I.M. Bortnik // Jelektrtehniceskaja promyshlennost'. Ser. AVN. – 1976. – Vyp. 5 (61). – S. 10.
8. *RD-16.066-05.* Jelegazovoe jelektrtehniceskoe oborudovanie. Tehniceskie trebovanija k proizvodstvu dlja obespechenija kachestva jelegaza v oborudovanii i mery obespechenija sanitarno-gigieniceskoj i jekologiceskoj bezopasnosti [Текст]. – М., 2005. – 47 с.