

Диэлектрическая жидкость «HerbO» FR3™

Описание

«HerbO» FR3 – это огнестойкая диэлектрическая охлаждающая жидкость на основе простого эфира, специально разработанная для использования в распределительных трансформаторах, с высокими характеристиками по экологической и пожарной безопасности, а также по химическим и диэлектрическим характеристикам.

«HerbO» FR3 производится из пищевых растительных масел, к которым добавляются присадки также естественного растительного происхождения. Жидкость не содержит нефтепродуктов, галогенов, кремний-органических соединений или иных потенциально опасных веществ. Быстро и в полном объеме разлагается в почве и водной среде. Проверена на токсичность.

«HerbO» FR3 отличается очень высокой температурой воспламенения 360°C и точкой вспышки 330°C. Это наилучшие показатели среди жидкостей высокой пожарной безопасности, предлагаемых на рынке в настоящее время. Удовлетворяет требованиям, установленным National Electric Code® (NEC®) и страховыми компаниями. Присвоена классификация диэлектрической жидкости повышенной безопасности, внесена в реестры Factory Mutual и Underwriters Laboratories.

«HerbO» FR3 совместима со стандартными трансформаторными изоляционными материалами, технологическим оборудованием и процедурами. Отличается повышенными термическими характеристиками, вязкость приближается к вязкости традиционного трансформаторного масла. Очень высокая диэлектрическая прочность, которая сохраняется на протяжении длительного срока, высокая долговременная химическая устойчивость.

Благодаря безопасности для окружающей среды, высокой пожарной безопасности и отличным техническим характеристикам, область применения «HerbO» FR3 расширилась: теперь ее используют в самом разном оборудовании, включая секционные разъединители, трансформаторные выпрямители, электромагниты и блоки питания устройств искусственного освещения. Рассматривается вопрос о внедрении в регуляторах напряжения, высоковольтных кабелях и силовых подстанциях. Кроме того, используется для заполнения распределительных устройств, изначально предназначавшихся для заполнения другими жидкостями.

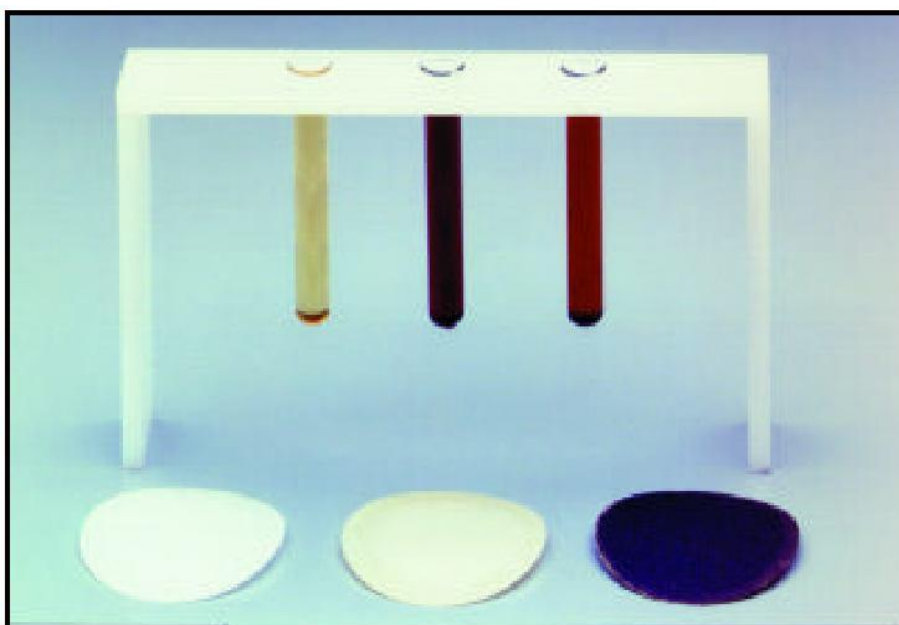
Основные технические характеристики «HerbO» FR3

Характеристики	Единицы измерения	Значение	Метод испытаний
Электрические			
Диэлектрическая прочность	кВ	56 (при 25°C) 47 (при 25°C)	ASTM D1816 ASTM D877
Относительная диэлектрическая проницаемость	-	3.2 (при 25°C)	ASTM D924
Коэффициент рассеяния	-	0.05% (при 25°C)	ASTM D924
Объемное сопротивление	кВ/мм	30×10^{11} (при 25°C)	ASTM D1169
Импульсная прочность (сфера-сфера)	кВ	226	ASTM D3300
Газообразование	мкл/мин	-79	ASTM D2300
Физико-химические			
Удельный вес	г/см ³	0.92 (при 25°C)	ASTM D1298
Поверхностное натяжение на границе раздела фаз	мН/м	27 (при 25°C)	ASTM D971
РН	-	5.8	EPA 9045C
Кислотное число (число нейтрализации)	мг КОН/г	0.022	ASTM D974
Кинематическая вязкость	сСт	33 (при 40°C) 8 (при 100°C)	ASTM D445
Содержание влаги	мг/кг	20	ASTM D 1533B
Процент насыщения (влага)	-	1-2%	Метод CPS
Растворимость (воздух)	-	16% (при 25°C и 1 атм.)	ATSM D2779
Внешний вид	-	светло-зеленая	ASTM D1524
Цвет	-	L 0.5	ASTM D1500
Термические			
Точка вспышки (закрытый сосуд)	°C	316	ASTM D93
Точка вспышки (открытый сосуд)	°C	330	ASTM D92
Температура воспламенения (открытый сосуд)	°C	360	ASTM D92
Температура застывания	°C	-21	ASTM D97

Теплопроводность	кал/(см×с×°С)	4.0×10^{-4} (при 25°С)	CPS Method
Удельная теплоемкость	кал/г/°С	0.45 (при 25°С)	ASTM D2766
Коэффициент теплового расширения	1/°С	7.4×10^{-4} (при 25°С)	CPS Method
Термический коэффициент	-	2.10 (при 50°С) 2.39 (при 100°С)	ASTM E1269
Экология			
Отношение BOD/COD	%	45	APHA SM5210B
Биологическая разложимость в водной среде	%	100	EPAOPPTS 835.3100
Токсическое воздействие на молодь форели	смертность на момент окончания эксперимента	0	OECD G.L. 203

Эксплуатационные характеристики

Уникальная химическая формула «HerbO» FR3 обеспечивает ей высокие технические характеристики. Она намного дольше других жидкостей сохраняет диэлектрическую прочность при использовании в выключателях нагрузки, отличается минимальным выделением газа при высоких электрических нагрузках. Среди пожаробезопасных жидкостей отличается высокой эффективностью теплоотведения. В процессе ресурсных испытаний изменения вязкости не обнаружено. Устойчива к коксованию и образованию отстоя, что выгодно отличает ее от традиционного трансформаторного масла. В процессе ускоренных испытаний на коксование в среде «HerbO» FR3 образовалось в 20 раз меньше кокса, чем в минеральном масле. Испытания, проведенные Doble Laboratories, образования отстоя не выявили вовсе.



Испытания на термическую стабильность

Справа налево: «HerbO» FR3, R-Temp и традиционное трансформаторное масло после выдержки в течение 120 часов при температуре 165°C

«HerbO» FR3 обладает высокой способностью отторгать остаточную влагу и поглощать воду, которая выделяется бумагой при ее старении. При этом она препятствует распаду молекул бумаги под воздействием высоких температур, что позволяет существенно продлить срок службы трансформаторной бумаги. Как показали результаты испытаний, срок службы бумаги в среде «HerbO» FR3 увеличивается по сравнению с обычным трансформаторным маслом от 5 до 8 раз.

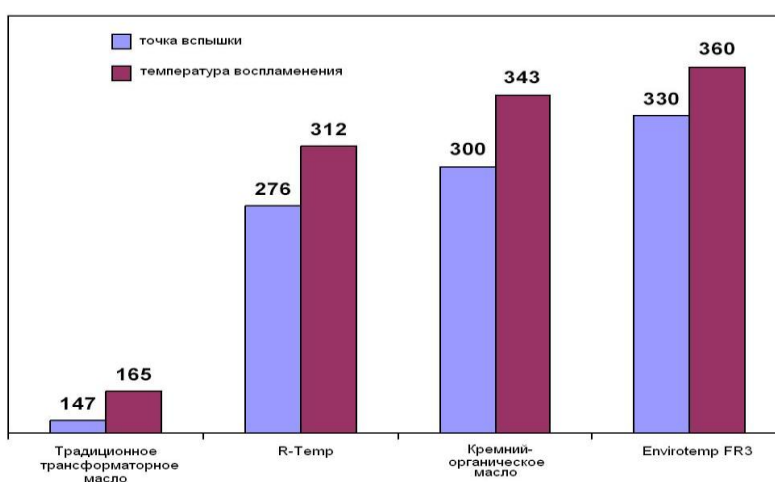
Время, за которое параметры изоляционной бумаги вышли за допустимые пределы в процессе ускоренного старения (в часах)

Критерий окончания срока службы	150 °C			170 °C		
	Минеральное масло	HerbO FR3	Расчет по методике IEEE	Минеральное масло	HerbO FR3	Расчет по методике IEEE
Остаточная прочность на разрыв:						
	- 50%	3100	>4000*	1602	240	1300
- 25%	4000	>4000*	3327	490	4000	671
Полимеризация 200	3200	>4000*	3679	480	3400	746

* За время испытаний характеристики бумаги не ухудшились ниже допустимых значений. Поскольку был выбран консервативный подход, экстраполяции не проводилось.

Пожарная безопасность

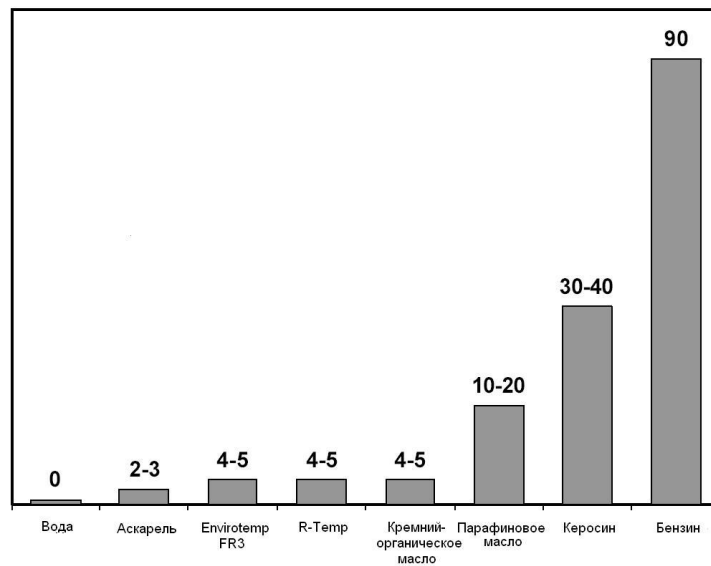
Температура воспламенения «HerbO» FR3 составляет 360°C, что значительно выше минимального порога NEC, который составляет 300°C. Точка вспышки 330°C). «HerbO» FR3 сертифицирована как диэлектрическая пожаробезопасная жидкость. Сертификаты выданы Factory Mutual и Underwriters Laboratories в соответствии с требованиями, установленными NEC. Ранее в National Fire Protection Association не поступало сведений о пожарах или взрывах на трансформаторах, заполненных «HerbO» FR3.



Температура воспламенения и точка вспышки диэлектрических жидкостей (°C)

В ходе различных испытаний «HerbO» FR3 продемонстрировала высокий уровень пожарной безопасности. По результатам всеобъемлющих испытаний Factory Mutual Research был сделан вывод о том, что вероятность пожара разлития этой жидкости настолько мала, что не требуется ни определение теплотворной способности жидкости, ни учет этого параметра при разработке требований, предъявляемых к установке оборудования, в котором эта жидкость используется. Factory Mutual признала «HerbO» FR3 пригодной к использованию в трансформаторах согласно требованиям FM Standard 3990. OSHA признала указанный стандарт FM удовлетворяющим требованиям, предъявляемым к зарегистрированной и маркированной продукции согласно NEC Section 110-3(b). Стандарт допускает использование Envirotemp FR3 в трансформаторах, установленных в помещении без устройств орошения при минимальном расстоянии до стены 36 дюймов.

Ранее Underwriters Laboratories был разработан Standard 340, который предназначен для сравнительной характеристики пожароопасности различных жидкостей. Ниже показан рейтинг, присвоенный «HerbO» FR3.



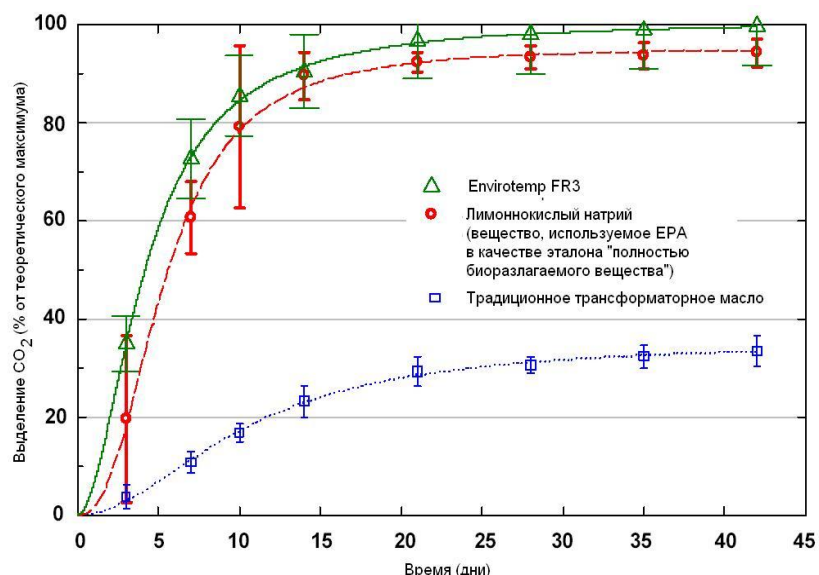
Пожароопасность согласно UL Standard 340

Нормативные требования

Применение жидкостей пониженной горючести признано одним из факторов обеспечения пожарной безопасности в соответствии с Section 15 норм National Electrical Safety Code (Accredited Standards Committee C2). «HerbO» FR3 удовлетворяет требованиям National Electrical Code Section 450-23 и включена в реестр жидкостей пониженной горючести, подпадает под действие OSHA Article §1910.305, Section 5(v). «HerbO» FR3 имеет статус Factory Mutual Approved и UL Classified "Less-Flammable" в соответствии с NEC Article 450-23, удовлетворяя требованиям к Listed Product в соответствии с положениями NEC. Дополнительная информация приведена в NEC Requirement Guidelines, Bulletin 92046.

Охрана природы и здоровья человека

«HerbO» FR3 изначально разрабатывалась как продукт, безопасный для окружающей среды и здоровья человека. Она производится из масел и иных компонентов на основе природного пищевого сырья. Базовые масла получают из возобновляемых ресурсов (в основном, семян, не подвергшихся генетической модификации) и легко поддаются утилизации и вторичному использованию. Продукт продается под торговой маркой ярко-зеленого цвета, которая позволяет легко отличить ее от других диэлектрических жидкостей. Скорость биологического разложения удовлетворяет контрольным цифрам Environmental Protection Agency® к «полностью биологически разлагаемым» продуктам



Аэробное водное биологическое разложение, EPA Test OPPTS 835.3100

В ходе одного из наиболее жестких испытаний на токсичность, Trout Fry Acute Toxicity test OECD G.L. 203, продукт «HerbO» FR3 оказался лучшим из всех представленных диэлектрических жидкостей, обеспечив нулевую смертность контрольных живых организмов в течение всего эксперимента. Поскольку «HerbO» FR3 вырабатывается из масел и других компонентов растительного происхождения, пригодных для употребления в пищу, продукт не подпадает под действие Federal Regulation of Used Oils (Title 40, No. 270). Напротив, на него распространяется действие Edible Oil Regulatory Reform Act (US Public Law 104-55, 1995), что освобождает его от контроля в рамках действующего и будущего законодательства. При этом в случае аварийного разлива достаточно мер естественной биологической рекультивации. Благодаря несколько большей вязкости по сравнению с обычным трансформаторным маслом и полимеризации при контакте тонкого слоя жидкости с теплым воздухом, разлив не будет распространяться по значительной площади и на значительную глубину в почву.

«HerbO» FR3 не входит в списки опасных веществ Environmental Protection Agency (EPA), Occupational Safety and Health Administration (OSHA) и Department of Transportation (DOT).

Пероральные испытания на животных не выявили токсикологических реакций, известные случаи контакта с организмом человека также не имели отрицательных последствий. Envirotemp FR3 не классифицирована как вещество, имеющее свойство накапливаться в живых организмах или вызывать мутации. Напротив, сейчас рассматривается вопрос о присвоении статуса "Environmentally Preferred Product".

Рейтинг в соответствии Hazardous Material Information System (HMIS) составляет по опасности для здоровья 0, отмечено отсутствие канцерогенности по классификации National Toxicology Program (NTP), International Agency for Research on Cancer (IARC) и OSHA Regulation.

Продуктами термического разложения «HerbO» FR3 являются, в основном, CO₂ и H₂O со следами CO, содержание которого зависит от наличия достаточного количества кислорода и температуры реакции. «HerbO» FR3 не переходит в PCDFs (фураны), PCDDs (диоксины) или силикаты.

Области применения

Новые трансформаторы

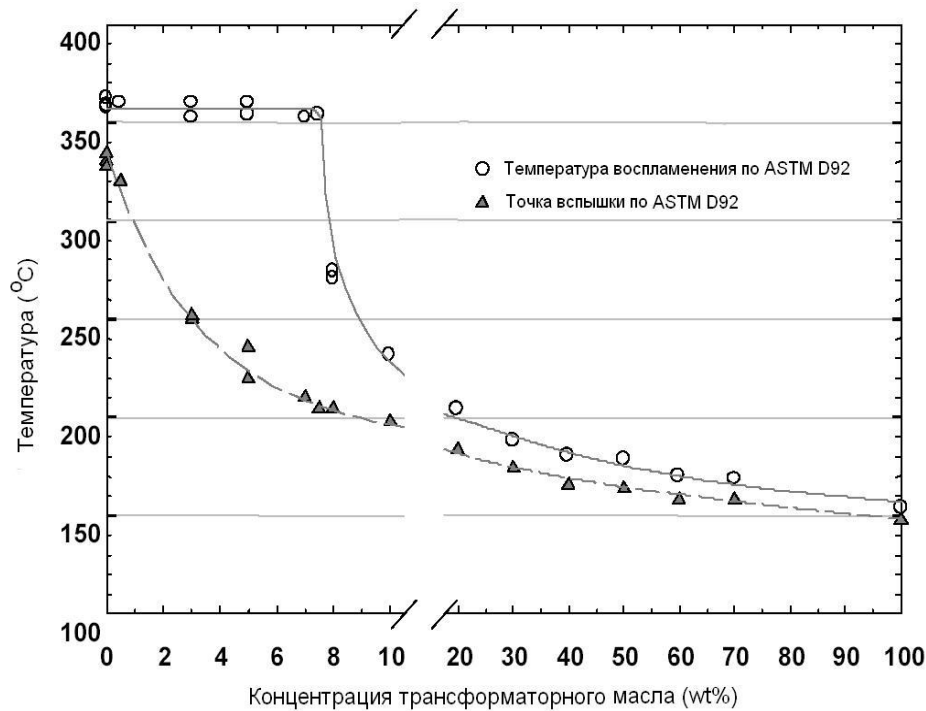
Трансформаторы с «HerbO» FR3 для установки в помещениях, в жидкой среде и вне помещений предлагаются несколькими производителями по всему миру. При использовании в помещениях, трансформаторы с «HerbO» FR3 обеспечивают все преимущества жидкостных трансформаторов при меньших затратах на протяжении жизненного цикла, чем при использовании других технических решений (при той же мощности).

«HerbO» FR3 также отлично подходит для трансформаторов, устанавливаемых вне помещений, в сетях и в подвалах, где требуется высокий уровень пожаро- и взрывобезопасности. Кроме того, обеспечивается более высокий уровень защиты от воздействия окружающей среды, чем в случае использования иных диэлектрических жидкостей (например, трансформаторного масла). Вопросы безопасности уличных установок особенно актуальны в случае установки вблизи зданий или дорогостоящего оборудования, на крышах и в непосредственной близости от мест, где ходят люди. В настоящее время «HerbO» FR3 используется на малых и средних подстанциях, устанавливаемых на ЛЭП и на опорных площадках.

Трансформаторы, заполненные «HerbO» FR3, используются как промышленными предприятиями, так и государственными учреждениями. Высочайший уровень безопасности для окружающей среды и здоровья человека обуславливает широкое использование «HerbO» FR3 в трансформаторах на заводах пищевой и фармацевтической промышленности.

Перевод трансформаторов с традиционного трансформаторного масла на «Herbo» FR3

«HerbO» FR3 отлично подходит для использования вместо масла в трансформаторах более ранних годов выпуска, обеспечивая повышение их пожарной и экологической безопасности. Полностью совместима с обычными трансформаторными маслами, высокомолекулярными углеводородами и большинством заменителей аскерала. В отличие от случая использования других жидкостей пониженной горючести, здесь остатки трансформаторного масла в большинстве случаев не приводят к понижению температуры возгорания ниже порога, установленного NEC (300°C). Это верно даже после установления равновесия между новой жидкостью и остатками старого масла в изоляционной бумаге.



Зависимость температуры возгорания и точки вспышки «HerbO» FR3 от концентрации остатков старого трансформаторного масла

Замена трансформаторного масла на «HerbO» FR3 дает и ряд других преимуществ:

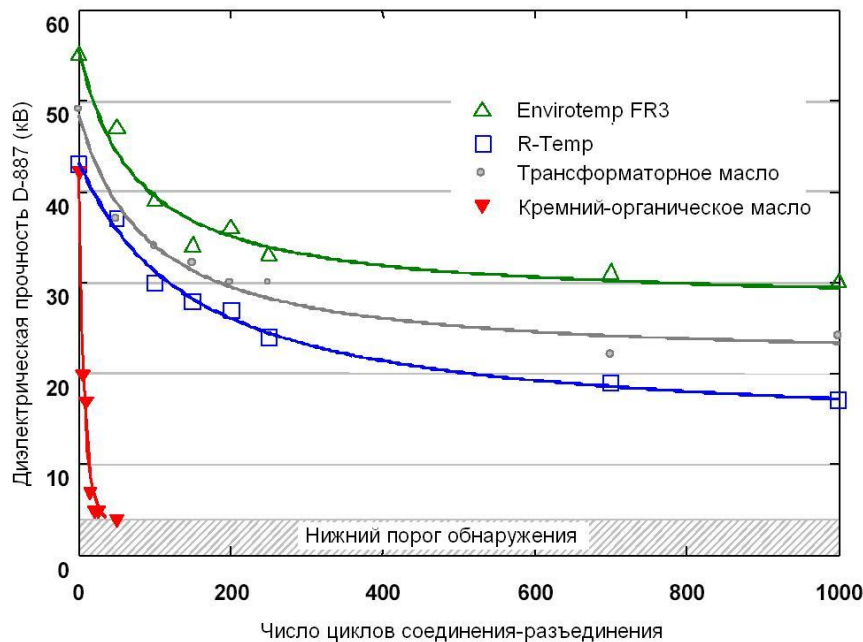
- повышение диэлектрической прочности,
- совместимость материалов и коэффициент теплового расширения, примерно равный коэффициенту теплового расширения масла.

Новая жидкость также поглощает влагу из трансформаторной изоляции, которая накопилась там в процессе ее старения, продлевая срок службы изделия. «HerbO» FR3 не приводит к вспениванию трансформаторного масла, как это происходит с остатками кремний-органических масел в процессе вакуумной дегазации. Не возникает и проблем, связанных с адгезией и силикатами углерода в процессе включения и выключения нагрузки (которые чреваты значительным снижением диэлектрической прочности).

Устройства подключения и отключения нагрузки

Высокая диэлектрическая прочность, смазывающая способность, практическое отсутствие коксования и крайне низкое газообразование делает «HerbO» FR3 отличным решением для использования в устройствах подключения и отключения нагрузки при температуре выше -10°C . Накоплен положительный опыт применения в новых и более старых секционных разъединителях, а также в трансформаторах с коммутационным оборудованием (таким, как предохранители, выключатели, вакуумные расцепители).

Учитывая разницу в вязкости по сравнению с трансформаторным маслом, данный продукт рационально использовать в оборудовании, предназначенном, в частности, для эксплуатации при низких температурах.



Стабильность диэлектрической прочности жидкости в разъединителях

Прочие области применения

Присущие «HerbO» FR3 безопасность и высокие эксплуатационные характеристики обусловили начало применения этой жидкости не только в трансформаторах, но и в оборудовании других типов, включая электромагниты, клистронные модуляторы, трансформаторно-выпрямительные секции, источники питания систем искусственного освещения и в качестве теплоносителя в испытательном оборудовании. «HerbO» FR3 обладает отличной смазывающей

способностью, что важно при использовании в оборудовании, в котором имеются движущиеся части. Есть широкие перспективы использования продукта в системах, содержащих высоковольтную изоляционную бумагу с масляной пропиткой, кабели, муфты, что связано со способностью «HerbO» FR3 значительно замедлять старение изоляционной бумаги и малым газообразованием, которое составляет -79 мкл/мин.

Примечание: Эпизодический контакт жидкости с воздухом (например, при срабатывании предохранительных клапанов или при открывании смотровых лючков) не приводит к существенному снижению эксплуатационных характеристик. Однако, контакт с атмосферным кислородом необходимо свести к минимуму, учитывая более высокую скорость окисления по сравнению с нефтепродуктами. Применение в негерметичных устройствах с постоянным воздухообменом между внутренней полостью и атмосферой не рекомендуется.

Опыт эксплуатации

С момента выпуска прототипа в 1996 году «HerbO» FR3 нашла свое применение в сотнях жидкостных распределительных трансформаторах, общая наработка которых уже превысила сотни машино-лет. Все без исключения установки работают надежно, уровень пожарной безопасности оказался на должном уровне. «HerbO» FR3 заправлялась как в новые трансформаторы, так и в ранее выпущенные трансформаторы, заменяя традиционное трансформаторное масло. Все установки работали надлежащим образом, температура воспламенения оставалась на уровне значительно выше нормативных 300°C в течение длительного времени. Опыт эксплуатации «HerbO» FR3 в трансформаторах подтвердил ее исключительную долговременную стабильность.

Установлена целесообразность периодического анализа жидкости на присутствие растворенных газов в рамках планово-предупредительного ремонта.

Общие сведения

Правила хранения и обращения

Правила хранения и обращения с традиционным трансформаторным маслом и «HerbO» FR3 совпадают. В целях предотвращения насыщения жидкости влагой рекомендуется свести контакт жидкости в воздухом к минимуму. При хранении в помещении и вне помещения надлежит обеспечить таре надлежащую защиту.

Регламентные работы

Регламентные работы при использовании «HerbO» FR3 – те же, что при использовании трансформаторного масла. Рекомендуется следующий состав работ:

1. Измерение диэлектрической прочности по ASTM D1816. В процессе эксплуатации эта характеристика «HerbO» FR3 должна составлять минимум 30 кВ (оборудование 69 кВ и ниже).

2. Относительно небольшое количество трансформаторного масла, попавшее в «HerbO» FR3, не должно существенно снизить ее температуру воспламенения и точку вспышки. Однако, при концентрации масла свыше 7.5% температура воспламенения может снизиться до значения менее 300°C. При наличии оснований полагать существенное загрязнение диэлектрической жидкости надлежит измерить ее температуру воспламенения и точку вспышки по ASTM D92.

3. Анализ на содержание растворенных газов особо рекомендуется для высоковольтного оборудования и оборудования, работающего в предельных режимах. Измерения следует проводить в соответствии с требованиями ANSI/IEEE guide C57.104-1991.

4. Рекомендуется измерение одного или нескольких из указанных ниже характеристик, поскольку они позволяют обнаружить загрязнение «HerbO» FR3 посторонними веществами или аномальную деградацию ее характеристик:

Тангенс угла диэлектрических потерь	D924	1.0% при 25°C макс.
Число нейтрализации	D974	2.5 мг КОН/г макс
Поверхностное натяжение на границе раздела фаз	D971	18 мН/м

В случае невозможности очистки жидкости б/у и ее повторного использования, рекомендуется продать жидкость специализированной компании для утилизации, переработки в биодизельное топливо, смешивания котловым топливом. На продукт не распространяются требования Federal Used Oil Regulation (Title 40. No. 279) – при условии, что жидкость не загрязнена веществами, которые попадают под те или иные нормативные ограничения.

Технические характеристики «HerbO» FR3

Характеристики	Значение при выпуске с завода-изготовителя	Предельное значение в процессе эксплуатации	Методика измерения по ASTM
Электрические			
Диэлектрическая прочность (кВ)	45	-	ASTM D877
	55	≥34	ASTM D1816
Коэффициент рассеяния (%)	0.13	≤1.0	ASTM D924
Объемное сопротивление	30	–	ASTM D1169
Физические			
Точка вспышки (°С)	330	-	ASTM D92
Температура воспламенения (°С)	360	≥300	ASTM D92
Температура застывания (°С)	-21	-	ASTM D97
Вязкость (сСт)	33 (40°С)	-	ASTM D445
	8 (100°С)		
Внешний вид	светло-зеленая		ASTM B1524
Цвет	L 0.5		ASTM D1500
Химические			
Содержание влаги (мг/кг)	50	≤400	ASTM D1533B
Число нейтрализации (мг КОН/г)	0.04	≤2.5	ASTM D974
Поверхностное натяжение на границе раздела фаз (мН/м)	24	≥18	ASTM D971

Нормативные требования

Диэлектрическая охлаждающая жидкость должна быть включена в реестр жидкостей пониженной горючести, удовлетворяющим требованиям National Electrical Code Section 450-23 и National Electrical Safety Code (IEEE C2-1997), Section 15. Жидкость должна быть нетоксичной, не накапливаться в живых организмах и полностью разлагаться биологическим путем согласно положениям EPA OPPTS 835.3100. Состав жидкости должен состоять только из масел и добавок естественного природного происхождения, пригодных для употребления в пищу. При испытаниях по OECD G.L. 203 смертность на молоди форели должна быть нулевой. Не допускается использование масел, полученных из генетически модифицированных растений. Обязательно наличие сертификата Factory Mutual Approved и UL Classified или аналогичных им. Точка вспышки в открытом сосуде должна быть минимум 325°C, температура воспламенения должна быть минимум 350°C при измерении по методике ASTM D92.

Маркировка по классификации Underwriters Laboratories



Компанией Underwriters Laboratories Inc.® продукции присвоена классификация по пожарной безопасности.

Жидкость «HerbO» FR3 присвоены классы с 4 по 5, по пожарной безопасности превосходит парафиновое масло.

Underwriters Laboratories Inc.® присвоен класс в соответствии с section 450-23 документа National Electrical Code, 1999 год.

Присвоена классификация «жидкость пониженной горючести» в соответствии с National Electric Code – при использовании в трехфазных трансформаторах, от 45 до 10 000 кВА при следующих «ограничениях на применение»:

А. Использовать только в трехфазных трансформаторах, картер которых рассчитан на давление 12 psig.

В. Обязательно использование предохранительных клапанов с целью не допустить повышения давления внутри картера и его разрушения под действием выделяющихся газов (номиналы клапанов приведены в таблице ниже).

C1. Обязательно использование устройств ограничения величины произведения $I^2 \times t$ (см. таблицу ниже) в первичной цепи трансформатора. Допускается применение погружных выталкивающих предохранителей, подключаемых последовательно с устройствами ограничения тока в соответствии со схемой, разработанной изготовителем,

или

C2. Обязательно использование устройств ограничения величины произведения $I^2 \times t$ (см. таблицу ниже) в первичной цепи трансформатора. В случае, если предохранитель срабатывает на сброс давления (например, выталкивающих предохранителей), такое предохранительное устройство должно устанавливаться снаружи картера трансформатора.

Трансформатор	Обязательная защита (одна из двух)		Давление срабатывания предохранительного клапана
	Предохранитель на максимальное значение $I^2 \times t$ ($A^2 \times s$)	Ограничитель тока на максимальное значение $I^2 \times t$ ($A^2 \times s$)	Минимальное давление срабатывания предохранительного клапана, SCFM при 15 psi
45	500 000	700 000	35
75	500 000	800 000	35
112.5	550 000	900 000	35
150	600 000	1 000 000	50
225	650 000	1 200 000	100
300	750 000	1 400 000	100
500	900 000	1 900 000	350
750	1 100 000	2 200 000	350
1 000	1 250 000	3 400 000	350
1 500	1 500 000	4 500 000	700
2 000	1 750 000	6 000 000	700
2 500	2 000 000	7 500 000	5 000
3 000	2 250 000	9 000 000	5 000
3 750	2 500 000	11 000 000	5 000
5 000	3 000 000	14 000 000	5 000
7 500	3 000 000	14 000 000	5 000
10 000	3 000 000	14 000 000	5 000