

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ ПРОКЛАДОК НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГЕРМЕТИЗАЦИИ МАСЛОНАПОЛНЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ВИХАРЕВ А.В., канд. техн. наук, СОКОЛОВ Д.В., асп.

Предложены алгоритм расчета уплотнительных узлов силового маслонаполненного оборудования в эксплуатации и оценка влияния различных технологических параметров и условий эксплуатации уплотнительного узла на степень деформации уплотнительной резины.

*Ключевые слова:* внутренняя изоляция, модель уплотнения, уплотнительные узлы, деформация, герметичность.

## EVALUATION OF SEALING DISKS PARAMETERS INFLUENCE UPON OIL-FILLED EQUIPMENT AIRTIGHTNESS EFFECTIVENESS

A.V. VIKHAREV, Ph.D., D.V. SOKOLOV, postgraduate

The work represents the calculation algorithm of power oil-filled equipment seal assemblies in operation and the evaluation of different technical parameters and seal assembly operating conditions influence upon the sealing rubber deformation degree.

*Key words:* internal insulation, compaction model, seal assemblies, deformation, airtightness.

Большое влияние на состояние внутренней изоляции маслонаполненного оборудования оказывают уплотнительные узлы, к которым относятся уплотнения бака, вводов напряжения и смотровых люков. Они обуславливают скорость увлажнения твердой и жидкой изоляции, а также скорость вытекания трансформаторного масла через уплотнения. Оценить технический уровень состояния уплотнительных узлов маслонаполненного оборудования по их степени герметизации и маслостойкости техническими средствами сложно, поэтому на кафедре ВЭТФ ИГЭУ разработана физическая и математическая модели уплотнений, а также алгоритм и программа их расчета.

Функционально резиновые уплотнения силового трансформатора являются разделительной средой, затрудняющей прямой контакт внутренней изоляции с внешней окружающей средой (воздухом). Однако это воздействие полностью не исключается и проявляется на уровне диффузионных и гидродинамических процессов, имеющих место в уплотнительных узлах, состоящих из уплотнительной резины, сжатой с двух сторон металлическими плоскими фланцами. Натекание воздуха в бак трансформатора через границу раздела фланец-резины происходит по зазорам, образующимся в зоне контакта фланцев и уплотнительной резины, а также сквозь толщу резинового уплотнения. Профиль этих зазоров и их количество зависят от неровностей поверхностей фланца и резины. В связи с этим для описания течения сред по зазорам выбрана модель зоны контактообразования в виде пористого слоя, через который фильтруется среда. При разработке математических моделей учтено влияние технических параметров оборудования (мощности, высоты слоя масла в баке над местом установки уплотнительного узла и др.) на процессы, имеющие место в уплотнении в условиях эксплуатации. Кроме этого, учтено взаимное влияние уплотнений на герметичность бака.

На основе физической модели уплотнения была разработана прикладная компьютерная про-

грамма расчета уплотнительных узлов маслонаполненного высоковольтного оборудования (рис. 1).

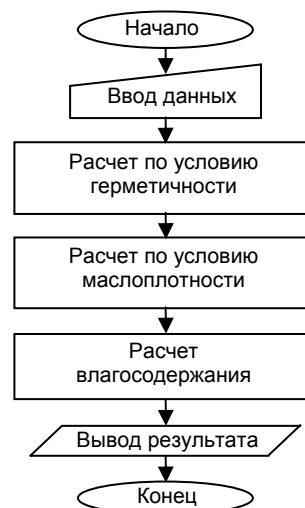


Рис. 1. Блок-схема прикладной компьютерной программы расчета уплотнительных узлов маслонаполненного высоковольтного оборудования

При вводе данных указываются соответствующие геометрические размеры уплотнений, а также физико-механические параметры уплотнительных узлов.

Бак маслонаполненного оборудования соответствует условию герметичности, если при пониженном давлении в баке в течение заданного времени натекания прирост изменения давления воздуха от начального до конечного значения не превысит нормативной для данного типа оборудования величины. Поэтому в блоке расчета уплотнений по условию герметичности реализован следующий алгоритм. Определяется постоянная времени натекания воздуха, при которой в течение нормативного времени натекания давление в баке оборудования изменится на заданную величину. Затем с выбранным шагом изменяется деформация всех уплотнений бака оборудования. При каждом значении деформации опре-

деляются параметры пористого слоя в уплотнительном узле и постоянная времени натекания через данный пористый слой. Относительная деформация, соответствующая нормативной постоянной времени натекания, и будет допустимой степенью сжатия уплотнительной резины по условию герметичности бака маслонаполненного оборудования.

В блоке расчета маслостойкости уплотнительных узлов на основе разработанных математических моделей процессов вытекания трансформаторного масла через уплотнения бака оборудования определяется предельная высота капилляра, при которой отсутствует течение масла через пористый слой на границе раздела фланец-резины. Относительная деформация, соответствующая этой высоте капилляра, является допустимой степенью сжатия уплотнительной резины по условию маслостойкости бака маслонаполненного оборудования.

В заключительном расчетном блоке программы определяется влажность трансформаторного масла и бумажной изоляции в заданный момент времени, а также рассчитывается ее изменение в процессе эксплуатации оборудования.

С использованием разработанной программы были произведены расчеты изменения необходимой степени деформации уплотнений в зависимости от различных физико-механических параметров уплотнительных узлов (рис. 2–5). Расчеты произведены для уплотнения разъема бака силового трансформатора ТДЦ-4000000/500, высота масляного столба над которым составляет 4 м.

Анализ полученных результатов показал, что качество обработки поверхности фланца оказывает значительное влияние на необходимую степень сжатия уплотнения (рис. 2). Это позволяет рекомендовать выполнение более тщательной обработки поверхности фланца для уменьшения степени деформации уплотнений и облегчения режима их работы. При повышении качества обработки поверхности фланца угол наклона боковой стороны и высота микровыступов уменьшаются, что приводит к значительному снижению степени сжатия резинового уплотнения, необходимого для обеспечения герметичности бака.

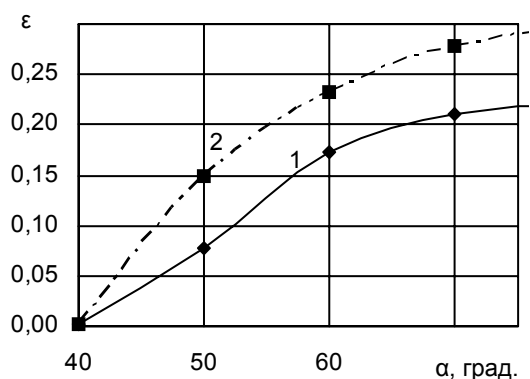


Рис. 2. Зависимость необходимой степени деформации уплотнения от угла наклона боковой стороны микровыступа: 1 – по условию герметичности; 2 – по условию маслостойкости

На скорость увлажнения внутренней изоляции оборудования существенно влияет масса бумажной изоляции (рис. 3), с увеличением которой скорость увлажнения существенно снижается.

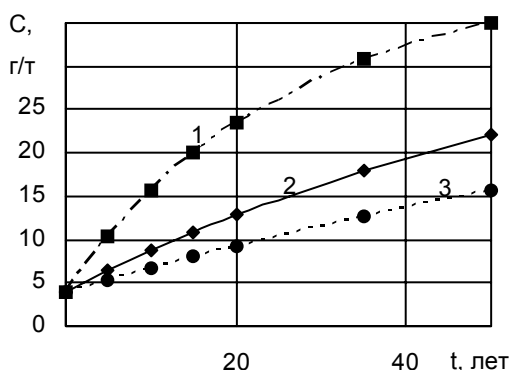


Рис. 3. Зависимость скорости увлажнения внутренней изоляции трансформатора от массы бумаги: 1 – 10 т; 2 – 28 т; 3 – 50 т

Анализ влияния физико-механических свойств резины на качество уплотнения показал, что мягкая резина плотнее прилегает к неровностям металлического фланца, обеспечивая более высокую герметичность (рис. 4). При этом коэффициент диффузии резиновых уплотнений существенно влияет на скорость увлажнения изоляции (рис. 5).

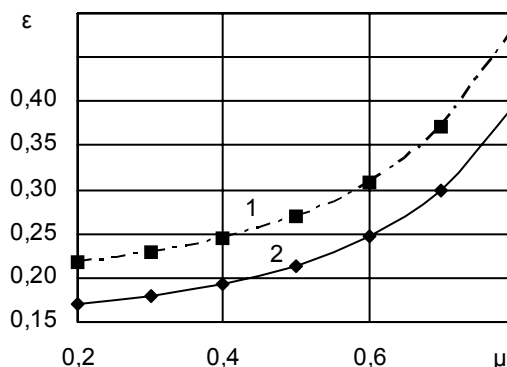


Рис. 4. Зависимость необходимой степени деформации уплотнения от коэффициента Пуассона резины: 1 – по условию герметичности; 2 – по условию маслостойкости

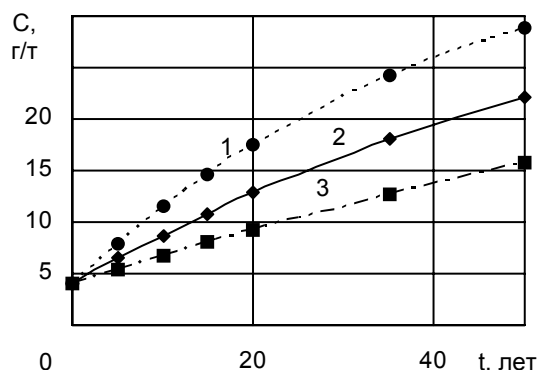


Рис. 5. Зависимость скорости увлажнения внутренней изоляции трансформатора от коэффициента диффузии резины: 1 –  $K_d = 15 \cdot 10^{-6}$ ; 2 –  $K_d = 9 \cdot 10^{-6}$ ; 3 –  $K_d = 5 \cdot 10^{-6}$

Анализ влияния высоты масла над местом установки уплотнения на качество уплотнения показал, что при увеличении высоты слоя масла необходимая степень сжатия значительно возрастает, поэтому уплотне-

ния, установленные в нижней части бака, должны деформироваться более сильно, чем установленные в верхней части. Кроме того, в ходе расчетов было установлено, что при высоте слоя масла менее одного метра необходимая степень сжатия определяется условием обеспечения герметичности.

Увеличение периметра уплотнительной прокладки (увеличение количества уплотнений) ведет к увеличению необходимой степени деформации, что необходимо учитывать при монтаже уплотнений. Увеличение объема бака оборудования ведет к уменьшению необходимой степени деформации, поэтому для оборудования с большим объемом ба-

ка можно облегчить условия работы уплотнений. При изменении атмосферного давления необходимая степень деформации по условию герметичности также изменяется, поэтому для оборудования, которое эксплуатируется в областях с пониженным давлением (в горах), также могут быть облегчены условия работы резиновых уплотнений.

Таким образом, компьютерная программа, разработанная на основе приведенных выше математических моделей, позволяет учитывать различные условия эксплуатации уплотнительных узлов. Эти данные можно использовать в эксплуатации, при проектировании и для исследовательских целей.

*Вихарев Алексей Владимирович,*

ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
кандидат технических наук, доцент кафедры высоковольтной электроэнергетики, электротехники и электрофизики,  
телефон (4932) 26-97-28,  
e-mail: vav@vetf.ispu.ru

*Соколов Дмитрий Владимирович,*

ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
аспирант,  
телефон (4932) 26-97-28,  
e-mail: vav@vetf.ispu.ru