

## 2. Формулы и надежность

В документе [35] предложено использовать как показатель качества работы релейной защиты коэффициент правильных действий защиты  $K$ , определяемый по формуле (1):

$$K = \frac{n_{\text{пс}}}{n_{\text{пс}} + n_{\text{ис}} + n_{\text{лс}} + n_{\text{ос}}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $n_{\text{пс}}$  – число правильных срабатываний;  $n_{\text{ис}}$  – число излишних срабатываний;  $n_{\text{лс}}$  – число ложных срабатываний;  $n_{\text{ос}}$  – число отказов срабатывания.

Понятно, что такой показатель как «вероятность отказа в срабатывании за год (при наличии требования)» [34] не может быть использован в этой формуле, использующей простой арифметический учет срабатываний или несрабатываний реле защиты.

Слово «надежность» в технических текстах часто используют в общепринятом смысле, когда им обозначают нечто внушающее доверие, верное, прочное, хорошо сработанное, достигающее цели [48]. К сожалению, такое расширенное использование термина «надежность» часто приводит к недоразумениям. Например, коэффициент  $K$  в документе [35] предложено использовать и для оценки надежности релейной защиты.

Такое предложение приводит к тому, что в некоторых работах предлагают такие «показатели надежности», как *надежность срабатывания* и *надежность несрабатывания*.

О «взаимосвязи» таких «показателей» на одном из форумов<sup>1</sup> можно прочесть следующий обмен мнениями:

---

<sup>1</sup> См.: <http://rzia.ru/topic85-filosofiya-zashchit-generatorov-p4.html>

**stoyan** пишет: *«Не надо забывать, что повышение надежности срабатывания понижает надежность несрабатывания».*

**Cambric** спрашивает: *«Что Вы имеете в виду: излишнее срабатывание или ложное срабатывание?»*

**stoyan** отвечает: *«И то и другое...»*

В действующих стандартах<sup>2</sup> предусмотрены такие характеристики реле:

- величина срабатывания;
- величина несрабатывания;
- нормируемый параметр несрабатывания и т.п.

В тех случаях, когда величина срабатывания задана двумя крайними значениями воздействующей величины, при одном из которых аппарат не должен срабатывать, а при другом должен срабатывать, то контроль срабатывания и несрабатывания следует проводить при этих двух значениях воздействующей величины.

Надежность реле характеризуется такими же показателями, как и надежность других технических средств, предусмотренных стандартом [20].

Сказанное позволяет утверждать, что правильность и неправильность срабатывания защиты, наличие излишних и ложных срабатываний, а также процентные соотношения между ними далеко не всегда связаны с надежностью устройства релейной защиты и тем более с надежностью цифровых устройств<sup>3</sup> как технических объектов в смысле, установленном в стандарте [20].

Статистику различного рода срабатываний и несрабатываний правильнее рассматривать как характеристику совершенства схемы релейной защиты, применяемых в цифровых устройствах алгоритмов и адекватности используемых в них математических моделей.

Поэтому нельзя согласиться с тем, что с помощью формул и показателей можно оценить надежность срабатывания  $D$  (2), надежность несрабатывания  $S$  (3) и общую надежность  $R$  (4) релейной защиты<sup>4</sup>:

---

<sup>2</sup> См. ГОСТ 16022-83. Реле электрические. Термины и определения; ГОСТ 2933-83. Аппараты электрические низковольтные. Методы испытаний.

<sup>3</sup> Информация о некоторых причинах ложных срабатываний приведена в [46].

<sup>4</sup> Цитируется по книге: В.И. Гуревич. Микропроцессорные реле защиты. Устройство, проблемы и перспективы. М.: «Инфра-инжиниринг», 2011, 336 с.

$$D=N_c/(N_c+N_F), \quad (2)$$

$$S=N_c/(N_c+N_U), \quad (3)$$

$$R=N_c/(N_c+N_F+N_U), \quad (4)$$

где  $N_c$  – количество правильных срабатываний защиты;  $N_F$  – количество отказов в срабатывании защиты;  $N_U$  – количество излишних (ложных) срабатываний защиты.

Сравнивая формулы (2)-(4) между собой, можно сделать вывод об их принципиальном сходстве. Небольшие различия вызваны только тем, что отдельные виды срабатываний по-разному объединены между собой.

Например, в формуле (1) сумма  $(n_{nc} + n_{oc}) = n_{tc}$  интерпретируется как число требований на срабатывание, а излишние и ложные срабатывания рассматриваются как независимые друг от друга.

В формулах (3) и (4) излишние и ложные срабатывания не разделены, тогда как в формуле (1) их учитывают отдельно.

При этом ни в одной из формул (2), (3), (4) не использован ни один из показателей надежности технических объектов, установленных в [20].

С помощью таких формул вообще нельзя произвести «учет надежности», а можно только обработать полученную статистику разного рода срабатываний и несрабатываний защиты, причины которых, как это показано в документе [35], далеко не всегда имеют отношение к надежности технических средств, используемых в системах релейной защиты.

Тем не менее, в литературе можно найти многочисленные примеры использования процента правильных или неправильных действий релейной защиты для оценки ее «надежности».

Например, в [70] предложено для этих целей использовать формулу (5):

$$\Delta_{,\%} = \frac{\Omega_{и} + \Omega_{л} + \Omega_{о}}{\Omega_{и} + \Omega_{л} + \Omega_{с}} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где  $\Omega_{и}$  – параметр потока излишних срабатываний (в простейшем случае – количество излишних срабатываний за год);  $\Omega_{л}$  –

параметр потока ложных срабатываний;  $\Omega_o$  – параметр потока отказов в срабатывании релейной защиты;  $\Omega_c$  – параметр потока заявок на срабатывание (т.е. количество повреждений защищаемого объекта в год).

Эта формула отличается от формулы (1) не только тем, что входящие в нее составляющие названы с использованием слов из терминологии теории надежности (например, параметры потока). Числитель и знаменатель в формуле (5) отличаются друг от друга на  $\delta\Omega=(\Omega_c-\Omega_o)$ , а не так, как в формуле (1).

Показатель  $\Delta$  в формуле (5) назван «**процент неправильных действий**» и поэтому логично предположить, что такой показатель должен дополнять **процент правильных действий**, рассчитанный по формуле (1), до 100%.

Однако из-за ряда различий (разные перечни срабатываний, различная их группировка и т.п.) этого не может быть, и результаты, полученные по формулам (1) и (5), нельзя сопоставить между собой.

В работе [69] для оценки эффективности функционирования предложено использовать усредненный статистический показатель работы  $h$ , названный процентом правильности действий:

$$h=h_{nc} \cdot 100/(h_{nc}+h_{oc}+h_{ic}+h_{lc}), \quad (6)$$

где  $h_{nc}$  – правильность срабатываний;  $h_{oc}$  – отказ в срабатывании;  $h_{ic}$  – излишнее срабатывание;  $h_{lc}$  – ложное срабатывание.

В этой работе написано, что данный показатель позволяет «...оценивать соответствие устройств РЗА предъявляемым требованиям, их **надежность** и пригодность для эксплуатации...».

Сравнение формул (1) и (6) показывает их идентичность. Отличие их друг от друга состоит только в обозначении срабатываний. Поэтому все сказанное выше о невозможности оценки надежности релейной защиты на основе анализа статистики различных срабатываний и несрабатываний применимо и для этой формулы.

Продолжением такого подхода может служить формула (7)<sup>5</sup>:

---

<sup>5</sup> В.И. Гуревич. Микропроцессорные реле защиты. Устройство, проблемы и перспективы. М.: «Инфра-инжиниринг», 2011, 336 с.

$$M_{\Sigma_i} = \left( \frac{M_{S_i} + M_{D_i} + M_{P_i}}{N_i} \right) \cdot 100\% . \quad (7)$$

В формуле приняты такие обозначения:

-  $M_{S_i}$  – отказы реле  $i$ -го вида, не связанные с неправильными действиями релейной защиты, но требующие ремонта или замены «вышедших из строя»<sup>6</sup> элементов и модулей;

-  $M_{D_i}$  – неправильные действия релейной защиты  $i$ -го вида, то есть излишние срабатывания при отсутствии аварийного режима или несрабатывания при аварийном режиме, не связанные с ошибками персонала;

-  $M_{P_i}$  – ошибки персонала, связанные с эксплуатацией, тестированием и программированием реле  $i$ -го вида, влияющие на правильность действия релейной защиты, выявленные до наступления неправильного действия защиты или после него;

-  $N_i$  – количество реле  $i$ -го вида, находящихся в эксплуатации в рассматриваемый период времени.

На самом деле, в этой формуле к надежности реле в смысле, установленном стандартом [20], имеет отношение только компонент  $M_{S_i}$ .

Все остальные компоненты этой формулы так или иначе связаны с «ошибками персонала» и не могут в таком виде характеризовать **надежность технического устройства**.

Некорректность введения такого показателя видна и в его определении, предлагающем учитывать ошибки персонала в зависимости от их выявления.

Нельзя не обратить внимания на то, что в определениях к формуле (7) не произведено различие между неправильными и излишними действиями защиты.

Поэтому вывод, сделанный в работе, где предложена эта формула<sup>7</sup>, неверен не потому, что в документе [35] использована формула (1), а потому, что такие формулы в принципе не имеют отношения к надежности, определяемой в соответствии с понятиями и терминологией, зафиксированными в стандарте [20].

Завершая обзор формул, предлагаемых разными авторами для оценки надежности, можно утверждать, что ни одна из

---

<sup>6</sup> Правильно – отказ (сбой, поломка и т.п.). См. также [20].

<sup>7</sup> «В России, как оказалось, учет надежности РЗ вообще не предусмотрен».