

SAT-9.2-1-HT-06

Logical and probabilistic modelling of the reliability of distributed pipeline transportation systems

Irina P. Ozerova, Evgenii V. Kravchenko, Iliya K. Iliev, Veselka Kambourova

Логико-вероятностное моделирование надежности распределенных систем трубопроводного транспорта

Ирина П. Озерова, Евгений В. Кравченко, Илия К. Илиев, Веселка Камбурова

Logical and probabilistic modelling of the reliability of distributed pipeline transportation systems: Reliability and continuity of providing various kinds of energy industry and social facilities is the basis of energy security. Increasing the length of pipeline transport systems and the number of consumers, coupled with the inevitable process of degradation of the elements of these systems makes it necessary to predict their technical condition. The development of predictive mathematical models will allow for the search for optimal circuit design to ensure energy security.

Key words: Failure-free operation probability, Logical and probabilistic models, Pipe heating systems, Readiness factors, Survivability factor.

ВВЕДЕНИЕ

В энергетике понятие живучести системы связано с возможностью каскадного развития первичных возмущений с массовыми нарушениями питания потребителей [1]. При этом первичные возмущения могут быть как относительно слабыми (например, отказы отдельных элементов или ошибки эксплуатационного персонала), так и крупными. К крупным первичным возмущениям, которые могут оказать влияние на трубопроводную систему можно отнести, например, снегопады, резкие похолодания или аварии на магистральных теплопроводах. Крупные внешние воздействия являются, как правило, труднопредсказуемыми как по интенсивности, так и по времени возникновения. Внутренние первичные воздействия, следствием которых являются аварии на теплопроводах, носят вероятностный характер и зависят как от многих объективных факторов – времени эксплуатации трубопровода, конструкции и способа укладки теплопровода, температурных режимов работы, так и субъективных критериев – уровня подготовки инженерно-технического персонала, организации ремонтных работ, инструментальных средств диагностики состояния теплопроводов. В случае, когда первичные возмущения приводят к массовому разрушению элементов трубопроводной системы и массовому отключению потребителей, это характеризует недостаточный уровень безопасности и живучести системы.

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ГОТОВНОСТИ

Способность трубопроводных систем обеспечивать в течение заданного времени требуемые режимы, параметры и качество теплоносителей определяется по трем показателям (критериям): вероятности безотказной работы, коэффициентам готовности и живучести для трубопроводных систем теплоснабжения [1].

Как пример взята типичная структурная схема системы централизованного теплоснабжения (СЦТ), изображенная на рис. 1а, которая состоит из: ИТ1, 2 – двух источников тепла; ТС – тепловых сетей и потребителей (1, 2, 3, 4, 5 – номера потребителей тепла).

Учитывая вероятностный характер происхождения крупных первичных

возмущений, показатель живучести может быть определен как отношение фактической вероятности безотказной работы (ВБР) элементов трубопроводной системы при каскадной аварии к вероятности безотказной работы при отсутствии взаимосвязи в каскадной аварии:

$$Ж = \frac{\sum_{j=1}^m P(H_j) \cdot P(A_j/H_j)}{\sum_{i=1}^n P(A_i)}, \quad (1)$$

где: $P(A_i)$ – вероятности безотказной работы элементов системы при использовании предположения о независимости формирующих каскадную аварию событий;

$P(H_j)$ – гипотезы о включении элементов системы в каскадное развитие аварийных ситуаций;

$P(A_j/H_j)$ – вероятность безотказной работы элемента системы при каскадном развитии аварии.

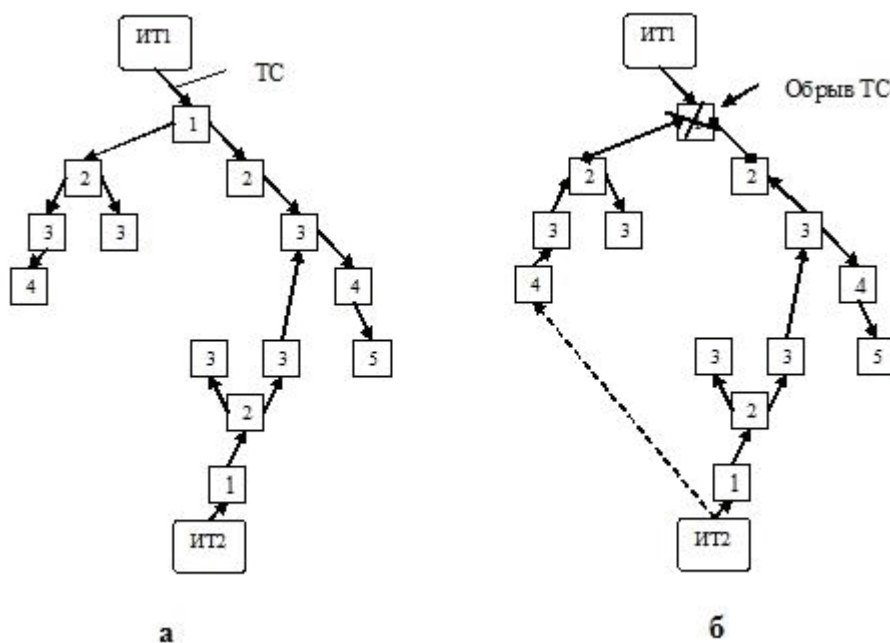


Рис.1. Структурная схема СТТ (а – до аварии; б – после аварии).

Данные по вероятностям безотказной работы элементов СТТ представлены в таблице 1. Значения ВБР для источников тепла принимались равными единице. Результаты расчетов приведены в таблице.

Пределы изменения показателя живучести находятся в диапазоне от 0 до 1. Чем ближе значение критерия живучести к 1, тем больше уровень живучести системы.

Расчет критерия живучести системы централизованного теплоснабжения проводился в два этапа:

1 этап – определение вероятностей безотказной работы по участкам тепловых сетей и потребителям тепла;

2 этап – определение живучести СТТ до и после аварии.

Таблица1. Вероятности безотказной работы элементов СЦТ

№ потребителя	Вероятность безотказной работы, P(A)	Участки тепловых сетей	Вероятность безотказной работы, P(A)
1	0,99	ИТ-1,2	0,99
2	0,98	1-2	0,99
3	0,99	2-3	0,95
4	0,99	3-4	0,9
5	0,98	4-5	0,9

Показатель живучести СЦТ при отсутствии каскадного развития аварий (рис.1а) Ж=1. При выбранном сценарном варианте развития каскадной аварии, представленном на рис.1б, расчетный показатель живучести в соответствии с заданной методикой равен 0,75. Данный показатель говорит о низком уровне живучести СЦТ и надежности теплоснабжения потребителей тепла при невозможности снабжения теплом потребителей от ИТ1.

С целью повышения уровня живучести СЦТ был проведен анализ структурной схемы, получившейся после сценарного варианта каскадной аварии. На рисунке 1а пунктиром обозначено схемное решение, которое позволяет увеличить показатель живучести системы до уровня Ж=0,93.

Уравнение для определения коэффициента готовности представляет собой сумму всех элементов СЦТ и принимает вид:

$$K_{\Gamma} = [K_{\Gamma_{ИТ}} + K_{\Gamma_{ТС}} + K_{\Gamma_{ПТ}}] \cdot \frac{1}{3} \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \quad (2)$$

где: $K_{\Gamma_{ИТ}}$ – коэффициент готовности источников теплоты;

$K_{\Gamma_{ТС}}$ – коэффициент готовности тепловых сетей;

$K_{\Gamma_{ПТ}}$ – коэффициент готовности потребителей теплоты;

a_1 – коэффициент, определяющий субъективную оценку готовности СЦТ к отопительному сезону;

a_2 – коэффициент, определяющий уровень принятия организационных мер, необходимых для обеспечения исправного функционирования СЦТ на уровне заданной готовности.;

a_3 – коэффициент, определяющий достаточность технических мер, необходимых для обеспечения исправного функционирования СЦТ на уровне заданной готовности.

Уравнение (2) показывает взаимосвязь между отдельными объектами СЦТ.

Коэффициент готовности объектов определяется из уравнений (3-5).

$$K_{\Gamma_{ИТ}} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{T_i}{T_i + T_{Bi}} \cdot a_{4i} \cdot a_{5i} \right) \cdot \frac{1}{n} \quad (3)$$

$$K_{\Gamma_{ТС}} = \sum_{j=1}^m \left(\frac{T_j}{T_j + T_{Bj}} \cdot a_{6j} \right) \cdot \frac{1}{m} \quad (4)$$

$$K_{\Gamma_{ПТ}} = \sum_{k=1}^s \left(\frac{T_k}{T_k + T_{Bk}} \cdot a_{7k} \right) \cdot \frac{1}{s} \quad (5)$$

где: T_i , T_j , T_k – время нахождения в работоспособном состоянии, кроме планируемых периодов, в течение которых применение не предусматривается для источников теплоты, тепловых сетей и потребителей теплоты, ч.;

T_{Bi} , T_{Bj} , T_{Bk} – время восстановления до работоспособного состояния, кроме

планируемых периодов, в течение которых применение не предусматривается для источников теплоты, тепловых сетей и потребителей теплоты соответственно, ч.;

n , m , k – количество источников теплоты, тепловых сетей и потребителей теплоты;

a_{4i} – коэффициент, характеризующий достаточность установленной тепловой мощности источника теплоты для обеспечения исправного функционирования СЦТ при нерасчетных похолоданиях;

a_{5i} – коэффициент, определяющий максимально допустимое число часов готовности для источника теплоты;

a_{6j} – коэффициент, характеризующий способность тепловых сетей обеспечить исправное функционирование СЦТ при нерасчетных похолоданиях;

a_{7k} – коэффициент, характеризующий способность СЦТ обеспечить заданную (нормативную) внутреннюю температуру воздуха в помещении, при соответствующей температуре наружного воздуха.

Результаты численного моделирования зависимости коэффициента готовности от коэффициента (a_6), характеризующего способность тепловых сетей обеспечить исправное функционирование СЦТ при нерасчетных похолоданиях, представлены на рис.2 [2].

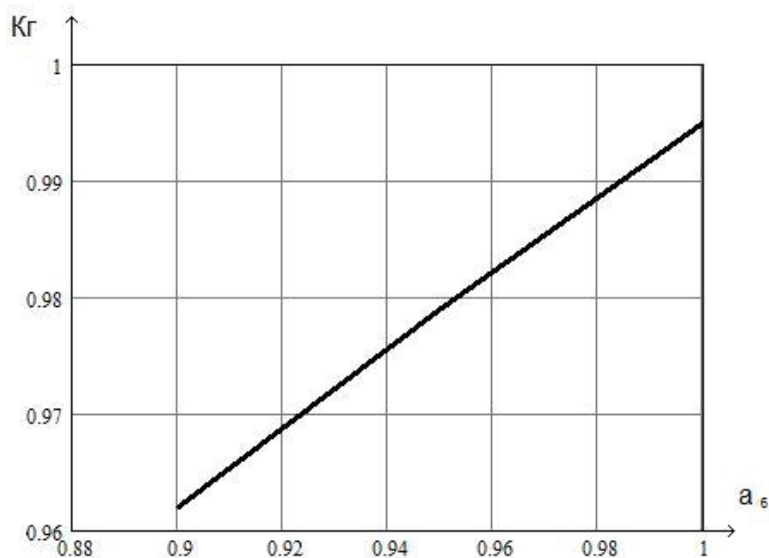


Рис.2. Зависимость коэффициента готовности от коэффициента (a_6) при нерасчетных похолоданиях

Влияние коэффициента (a_6) на готовность системы центрального теплоснабжения достаточно значительное. Даже при небольших отличиях от нерасчетных температур, например $a_6=0,95$ коэффициент готовности ($K_g=0,98$) близок к предельно допустимому показателю готовности СЦТ к исправной работе. Более точный прогноз можно получить при проведении испытаний [3] в климатической камере с определением коэффициентов теплопроводности [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Необходима разработка прогнозных математических моделей трубопроводного транспорта теплоносителей с использованием критериев вероятности безотказной работы, коэффициентов готовности и живучести для повышения надежности и безопасности работы таких систем и возможности поиска оптимальных схемных решений в режиме реального времени для предотвращения аварийных ситуаций.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Методы и модели исследования живучести систем энергетики. / Антонов Г.Н., Черкесов Г.Н. Новосибирск: Наука. Сиб. отд. 1990 г. – 285 с.
- [2] Кравченко Е. В. О расчете коэффициента готовности систем центрального теплоснабжения городов // Современные техника и технологии: сборник трудов XIX международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 15-19 апреля 2013 г.в 3 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — 2013. — Т. 3., 227-228
- [3] Nigay A., Kravchenko E. Development automated system control heat chamber based on programmable logic controller Siemens S7-200 // MATEC Web of Conferences. 2015. 37, 01037
- [4] Timoshenko E., Afanaseva V., Kravchenko E. Experimental Determination of Heat Transfer Coefficient under Free Convection in an Unbounded Space // MATEC Web of Conferences. 2016. 72, 01113

Контакты:

Доц. к.т.н. Ирина Озерова, Кафедра “Автоматизации теплоэнергетических процессов”, Томский политехнический университет; e-mail: ipozerova@mail.ru

Доц. к.т.н. Евгений Кравченко, Кафедра “ Автоматизации теплоэнергетических процессов”, Томский политехнический университет

Проф. д-р Илия Илиев, Кафедра "Теплотехника, гидравлика и экология" Русенский университет “Ангел Кынчев”, сотовой: +359887306898, e-mail: iiliev@enconservices.com

Доц. д-р Веселка Камбурова, Русенский университет “Ангел Кынчев” - филиал Разград, сотовой: +359885955347, e-mail: vkambourova@enconservices.com

Докладът е рецензиран.