

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.396.99

Бутор
Дмитрий Александрович

Исследование внутренней системы радиосвязи атомной электростанции по
излучающему кабелю

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-39 80 02 Радиотехника, в том числе системы и
устройства радионавигации, радиолокации и телевидения

Научный руководитель
Забеньков Игорь Иванович
профессор кафедры ИРТ, доктор
технических наук

Минск, 2020

Введение

Тема моей магистерской диссертации «Исследование внутренней системы радиосвязи атомной электростанции по излучающему кабелю».

В последнее десятилетие XX века беспроводные цифровые коммуникации вступили в фазу бурного развития, которая продолжается и в настоящее время. Необходимость беспроводной коммуникации возрастает с каждым днем.

В условиях стремительного роста и развития экономики, на фоне сокращающихся углеводородных ресурсов, возникает потребность в альтернативных источниках энергии, коим и является атомная электростанция. Система беспроводной коммуникации на АЭС необходима для слаженной работы, контроля исполнения задач и безопасности производства. Однако реализация системы беспроводных коммуникаций сложна из-за технических характеристик объекта и особенностей труда.

В моей работе я хотел бы подробнее остановиться на таком техническом средстве, как излучающий кабель, который не так широко распространен Республике Беларусь, однако мог бы стать ключевым звеном в системе коммуникации на многих объектах, для которых существует проблема наличия «мертвых» зон или зон «радио-тени», в которые не проникают радиоволны, в частности и на новой Белорусской АЭС.

Целью практики являлось получение теоретического и практического опыта проектирования и непосредственного внедрения различных систем коммуникаций.

Задачами являлись:

- Обзор и анализ литературы на заданную тематику
- Изучение актуальности проблемы обеспечения связи на АЭС посредством излучающего кабеля
- Изучения вариантов реализации системы радиосвязи
- Анализ моделей излучающих кабелей и двунаправленных усилителей, представленных на рынке
- Анализ прохождения радиосигнала в сложной структуре канала связи АЭС
- Разработка схемы проведения излучающего кабеля по территории объекта
- Расчет показателей для выбранных моделей излучающих кабелей.

В результате проделанной работы будет изучен рынок излучающих кабелей, выбраны оптимальные модели, которые отвечают современным требованиям и могут удовлетворять запросы в обеспечении системы связи на АЭС, разработана схема проведения кабеля по объекту, рассчитаны основные показатели прохождения радиосигнала в сложном канале связи на АЭС для

выбранных кабелей, разработана оптимальная схема взаимодействия и расположения структурных компонентов системы связи.

Актуальность работы обусловлена развитием атомной энергетики в РБ.

Включение в энергобаланс Республики Беларусь ядерного топлива посредством строительства АЭС позволит Беларуси решить ряд стратегически важных задач:

1. Обеспечение дополнительных гарантий укрепления государственной независимости и экономической самостоятельности Беларуси (возведение атомной электростанции позволит снизить потребность государства в импортных энергоносителях почти на треть);

2. Снижение уровня использования природного газа в качестве энергоресурса, изменение структуры топливно-энергетического баланса страны (ввод в действие АЭС в Беларуси позволит уйти от однобокой зависимости нашей экономики от поставок российского газа и приведет к экономии около 4,5 млн. м³ газа в год);

3. Строительство БелАЭС рассматривается как вариант диверсификации поставщиков и видов топлива в топливно-энергетическом балансе страны;

4. Атомная энергетика открывает новые возможности для развития национальной экономики;

5. Строительство БелАЭС способствует экономическому и социальному развитию региона размещения станции;

6. Опыт, приобретенный при строительстве БелАЭС, в перспективе позволит использовать промышленный и кадровый потенциал страны при возведении объектов ядерной энергетики как на территории Республики Беларусь, так и за рубежом;

7. Введение в энергобаланс АЭС позволит снизить выбросы парниковых газов в атмосферу

В Республике Беларусь с 2011 года начаты работы по строительству первой Белорусской АЭС в городе Островец. Предполагается, что АЭС будет состоять из двух энергоблоков, первый энергоблок будет запущен в 2020 году, а её установленная мощность составит 2400 МВт.

1. Краткая характеристика основных понятий

Радиосвязь - вариация беспроводной связи, которая в качестве носителя сигнала использует радиоволны, которые свободно распространяются в пространстве

В общем виде системы радиосвязи можно разделить на группы:

- радиорелейные,
- тропосферные,
- спутниковые,
- коаксиальные,
- волоконно-оптические.

Исходя из объекта, на котором будет расположена система радиосвязи нужно было выбрать из коаксиальной и волоконно-оптической, однако влияние на волоконно-оптический кабель нейтронного излучения очень высоко. Поэтому наиболее подробно следует остановиться на коаксиальном кабеле.

Коаксиальный кабель — это кабель, предназначенный для передачи радиосигнала, в котором оба проводника тока, которые образуют электрическую цепь, представляют собой два соосных цилиндра.

Коаксиальный кабель состоит из центрального проводника, внутреннего диэлектрика, экрана и внешней оболочки.

Интересующим нас подвидом является излучающий кабель. Простыми словами, излучающий кабель — это длинная гибкая антенна, которая оснащена пазами для передачи радиосигналов.

Разработчик кабельной сети руководствуется следующими критериями при выборе кабеля:

- механические характеристики;
- электрические характеристики;
- стабильность параметров;
- стоимость.

Механические характеристики кабеля обусловлены его механической структурой, особенностями конструкции и определяют его гибкость, прочность и долговечность.

Электрические характеристики также зависят от механической структуры кабеля и материалов, которые были использованы при его изготовлении. Электрические характеристики определяют качество передачи сигнала в системе. К параметрам электрических характеристик относятся сопротивление проводников кабеля, затухание сигнала в кабеле, степень экранирования и другие. Механические и электрические характеристики в совокупности составляют технические характеристики кабеля.

Преимущества излучающего кабеля заложены в свойственной ему гибкости. Излучающий кабель, как и любой другой кабель, можно проложить практически по любой траектории для подачи радиосигналов в те места,

которые антенны просто не могут охватить. На заре своего появления излучающие кабели применялись работниками службы неотложной помощи внутри авто- и железнодорожных туннелей для обеспечения одновременной двусторонней радиосвязи. На промышленных предприятиях существует много труднодоступных мест, будь то настоящие туннели, или радиочастотные туннели, создаваемые преградами.

Как более актуальный для данной работы пример можно привести атомную электростанцию, где обеспечение беспроводной радиосвязи затруднительно вследствие особой конструкции объекта, толщины стен, отражающей и изоляционной способности материалов. Применение излучающего кабеля для обеспечения систем коммуникации на атомной электростанции не только технологически обосновано, но и выгодно с практической точки зрения, так как сигнал будет оставаться в зоне объекта, обеспечивая информационную безопасность и надежность передаваемых внутри объекта данных.

2. Анализ имеющихся на рынке моделей устройств и изучение их технической спецификации

В данный момент на рынке излучающих кабелей самую доступную и качественную продукцию обеспечивают торговые марки ZTT и Alliance cable, базирующиеся в Китае.

Для данной работы были выбраны кабели HLRCTSHYZ-50-32 (1-1/4") торговой марки ZTT и коаксиальный кабель серии RF 50 1/4" торговой марки Alliance cable.

Двунаправленный усилитель (Bi-directional Amplifier, BDA) — это усилитель полосы ВЧ сигнала, который работает в двух направлениях - приема и передачи, т.е. в простейшем случае имеет в своем составе два линейных широкополосных ВЧ усилителя (без какого-либо преобразования сигнала). Для работы выбрана модель TS-9200 BDA производства компании Hytera.

3. Расчет параметров для выбранной модели излучающих кабелей

За основу в данном разделе взяты два кабеля различных производителей, различающиеся по своим механическим и электрическим характеристикам. Это кабели серий HLRCTSHYZ-50-32 (1-1/4") и RF 50 1/4".

В связи со спецификой объекта АЭС, в частности с особенностями строения стен, их толщиной, а также характером материалов, целесообразно применить модель расчета сигнала для тоннелей метро, так как эта модель в

большей степени соответствует необходимым характеристикам и особенностям.

Продольное (погонное) затухание ИК ($\alpha_{\text{пр.н}}$) определяется сравнением проходной мощности $P(l)$ в разных точках сечения кабеля и измеряется в дБ/100 м [25]:

$$\alpha_{\text{пр.н}} = 10 \lg \frac{P(l)}{P(l+100)} \quad 3.1$$

где

$P(l)$ – проходная мощность в точке l , Вт;

$P(l+100)$ – проходная мощность в точке $(l+100)$ м, Вт.

Таким образом, $P(l)$ в любой точке сечения ИК будет иметь регулярную величину, равную (таблица 3.1) [25]:

$$P(l) = P_1 - \alpha_{\text{пр.н}} l / 100 \quad 3.2$$

где

P_1 – мощность передатчика, дБ (Вт);

l – расстояние от точки включения генератора до точки сечения кабеля, м.

Нормированное поперечное затухание $\alpha_{\text{пп.н}}$ применительно к каждому значению частоты определяется как (таблица 3.2) [26]:

$$\alpha_{\text{пп.н}} = 10 \lg \frac{P(l)}{P(r_n)} \quad 3.3$$

где

$P(l)$ – проходная мощность в кабеле в точке l , Вт;

$P(r_n)$ – мощность, наведенная в полуволновом вибраторе, ориентированном параллельно оси ИК и удаленном от него на расстояние $r_n = 2$ м, Вт.

Таблица 3.1 – Продольное затухание кабелей серии HLRCTSHYZ-50-32 (1-1/4”) и RF 50 1/4”

Характеристика \ Серия кабеля	HLRCTSHYZ-50-32 (1-1/4”)	RF 50 1/4”
Частота (МГц)	Затухание (дБ/100 м, 20°С)	Затухание (дБ/100 м, 20°С)
150	1.10	5.80
450	1.81	8.88
800	2.80	12.10
900	2.96	12.80
1800	5.82	18.90
2200	6.14	20.00

2400	7.67	21.60
------	------	-------

Таблица 3.2. – Поперечное затухание при вероятностных величинах потерь 50 и 95%

Частота, МГц	Поперечное затухание кабелей при вероятностных потерях 50 и 95 %, дБ			
	RF 50 1/4"		HLRCTSHYZ-50-32 (1-1/4")	
75	49	60	57	68
150	58	67	62	68
450	62	66	66	70
800	62	66	64	70
900	62	69	62	67
1800	54	66	54	62
1900	53	65	50	58

Была разработана схема проведения излучающего кабеля в помещении объекта АЭС с заданными характеристиками, а также определены точки проведения сигнала излучающего кабеля, по которым целесообразно вести расчет (рисунок 4.1). По данной схеме далее был произведен расчет затухания в поперечной плоскости помещения объекта АЭС, а также далее представлены данные общего затухания в каждой из точек, рассчитанные для каждого из избранных кабелей.

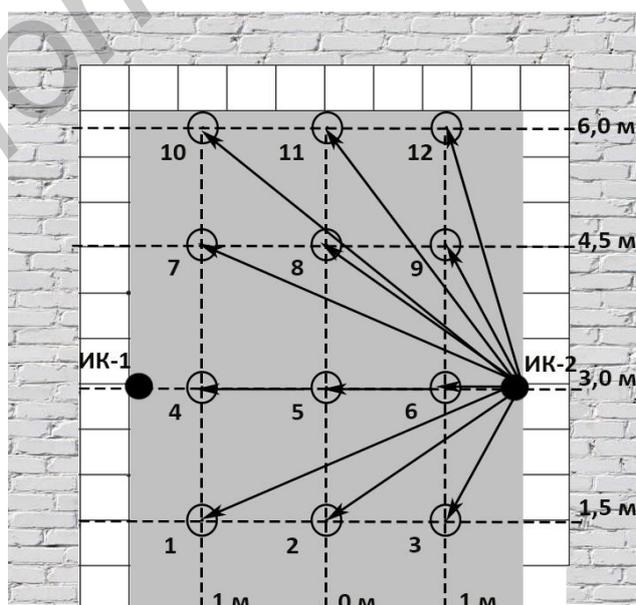


Рисунок 3.1 – Точки проведения сигнала излучающих кабелей

При этом значение затухания в любой точке поперечной плоскости, например коридора $\alpha_{\text{пл}}$ можно выразить как суммарную величину поперечного

затухания, отнесенного к нормированной точке r_n , и нормированного поперечного затухания [26]:

$$\alpha_{пп} = \Delta \alpha_{пп} + \alpha_{пп.н} \quad 3.4$$

где

$\alpha_{пп} = 20 \lg(r/r_n)$ – поперечное затухание, зависящее от удаления полуволнового вибратора от оси ИК на расстояние r , дБ.

Общее затухание радиосигнала на объекте K_T с учетом продольного и поперечного затухания кабеля будет:

$$K_T = \alpha_{пр.н} \left(\frac{l}{100} \right) + \alpha_{пп} \quad 3.5$$

Выражение (3.5) позволяет определить затухание в потенциально возможных точках расположения антенны.

По рекомендации ЦСС излучающий кабель для удобства эксплуатационного обслуживания подвешивается на высоте 3 м от пола.

Рассчитанные по формуле (3.5) значения общего затухания радиосигнала K_T для БелАЭС приведены в таблице 4.3. Они позволяют оценить затухание тракта передачи в зависимости от местоположения кабеля относительно друг друга и здания АЭС, а также общее затухание в пределах здания АЭС и вне его.

Таблица 3.3. – Рассчитанные значения общего затухания для кабелей на АЭС

Исходные данные			Общее затухание в помещении K_T , дБ для l , м				
Точки	r , м	$\Delta \alpha_{пп}$, дБ	0	100	200	300	400
1	3,48	4,83	71,83	74,93	78,03	81,13	84,23
2	2,62	2,35	69,35	72,45	75,55	78,65	81,75
3	1,89	-0,49	66,51	69,61	72,71	75,81	78,91
4	3,15	3,95	70,95	74,05	77,15	80,25	83,35
5	2,15	0,63	67,63	70,73	73,83	76,93	80,03
6	1,15	-4,81	62,19	65,29	68,39	71,49	74,59
7	3,48	4,83	71,83	74,93	78,03	81,13	84,23
8	2,62	2,35	69,35	72,45	75,55	78,65	81,75
9	1,89	-0,49	66,51	72,71	81,78	78,91	78,91
10	4,35	6,75	73,75	79,95	83,05	86,15	86,15
11	3,69	5,32	72,32	78,52	81,62	84,72	84,72
12	3,21	4,12	71,12	77,32	80,52	83,52	83,52

Данные таблицы 4.3 показывают, что при нормированных значениях параметров для кабеля марки RF 50 1/4” при частоте 150 МГц $\alpha_{пр.н} = 3,1$ дБ и

$\alpha_{\text{п.н}} = 67$ дБ при вероятностных потерях 95 % для туннеля протяженностью 400 м общее затухание находится в пределах от 62 до 86 дБ. При этом продольное затухание составляет 12,4 дБ, а общее затухание применительно к локомотивной антенне лежит в пределах 67–84 дБ, для антенны дрезины – 62–83 дБ, антенны АЭС – 67–84 дБ.

Эти данные позволяют оценить условия обеспечения передачи данных. Расчет радиосетей передачи данных базируется на принятых нормативах и методике определения продольного и поперечного затухания радиотракта в туннеле.

Рассчитаем потенциально обслуживаемую протяженность ИК при использовании кабелей RF 50 1/4" и HLRCTSHYZ-50-32 (1-1/4") и вероятностных потерях 95 % без применения усилителей при мощности передатчика 10 Вт, волновом сопротивлении 50 Ом, ресурсе передатчика 148 дБ (мкВ).

Относительно $\alpha_{\text{пр}}$ получим выражение:

$$\alpha_{\text{пр}} = U_1 - \alpha_{\text{пп}} - \alpha_1 l_1 - g_2 - K_3 - U_{2\text{мин}} \quad 3.6$$

где

U_1 и $\alpha_{\text{пп}}$ – известные величины ($U_1 = 148$ дБ, $\alpha_{\text{пп}}$ – из формулы 4.4);

$\alpha_1 l_1$ – затухание в фидере от приемопередатчика до антенны, равное 0,5 дБ;

g_2 – коэффициент преобразования напряженности поля на выходе антенны, равный 12 дБ;

K_3 – коэффициент ослабления напряженности поля контактной сетью, составляющий 1 дБ;

$U_{2\text{мин}}$ – минимально допустимый уровень полезного сигнала на входе приемника возимого радиомодема (принимается равным 20 дБ из-за возможности повышенного уровня импульсных радиопомех и близости антенны к контактному проводу).

В результате вычислений получаем, что $\alpha_{\text{пр}}$ для кабеля RF 50 1/4" составляет 35,5 дБ, а для HLRCTSHYZ-50-32 (1-1/4") – 41,5 дБ.

Обслуживаемая протяженность кабеля $l = \alpha_{\text{пр}} / \alpha_{\text{п.н}}$ для выбранных моделей будет:

$$l_{\text{RF 50 1/4"}} = 1,4 \text{ км}$$

$$l_{\text{HLRCTSHYZ-50-32 (1-1/4")}} = 4 \text{ км}$$

Введем в нее $\alpha_{\text{пп}}$ и $\alpha_{\text{пр}}$ для кабеля длиной 400 м. Учитывая, что ресурс $U_1 = 148$ дБ в основном расходуется на $2\alpha_{\text{пп}} = 144$ дБ, определим необходимый коэффициент усиления $K_{\text{ус}}$:

$$|K_{\text{ус}}| \geq U_1 - 2\alpha_{\text{пп}} - \alpha_{\text{пр}} - \alpha_1 l_1 - \alpha_2 l_2 - g_2 - 2K_3 - U_{2\text{мин}} \quad 3.7$$

В результате вычислений получим, что $K_{ус}$ для кабеля RF 50 1/4" составляет более 40 дБ, а для HLRCTSHYZ-50-32 (1-1/4") – более 30 дБ. Однако при таких значениях коэффициента усиления возможно самовозбуждение трактов приема и передачи. Чтобы исключить этот процесс, необходимо разделение трактов.

Таким образом в лучшем случае можно использовать кабель длиной 4 км, не прибегая к использованию усилителя.

В случае невозможности использования кабеля, длиной 4 км, возможно использование усилителя.

На основе полученных данных можно сделать вывод, что для реализации системы связи на АЭС посредством данных моделей излучающих кабелей, наилучшим вариантом усилителя является двунаправленный усилитель компании Hytera модели TS-9200 BDA.

Библиотека БГУИР

Выводы

В результате проделанной работы был произведен обзор и анализ литературы на заданную тематику, была изучена проблема обеспечения связи на АЭС посредством излучающего кабеля, изучены варианты реализации системы радиосвязи, произведен анализ прохождения радиосигнала в сложной структуре канала связи АЭС.

Для раскрытия темы диссертации, был изучен рынок излучающих кабелей, выбраны оптимальные модели, которые отвечают современным требованиям и могут удовлетворять запросы в обеспечении системы связи на АЭС – это модели HLRCTSHYZ-50-32 (1-1/4") торговой марки ZTT, а также RF 50 1/4" торговой марки Alliance cable.

Для данных кабелей была рассчитана длина, которая для RF 50 1/4" составила 1,4 км., а для HLRCTSHYZ-50-32 (1-1/4") – 4 км.

Опираясь на эти данные, была предложена схема проведения кабеля по объекту АЭС, а также оптимальная схема взаимодействия и расположения структурных компонентов системы связи.