

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R Р.528-3
(02/2012)

Кривые распространения радиоволн для воздушной подвижной и радионавигационной служб, работающих в диапазонах ОВЧ, УВЧ и СВЧ

Серия Р
Распространение радиоволн



Предисловие

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Приложении 1 к Резолюции МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

Серии Рекомендаций МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>.)

Серия	Название
BO	Спутниковое радиовещание
BR	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
BS	Радиовещательная служба (звуковая)
BT	Радиовещательная служба (телевизионная)
F	Фиксированная служба
M	Подвижная спутниковая служба, спутниковая служба радиоопределения, любительская спутниковая служба и относящиеся к ним спутниковые службы
P	Распространение радиоволн
RA	Радиоастрономия
RS	Системы дистанционного зондирования
S	Фиксированная спутниковая служба
SA	Космические применения и метеорология
SF	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
SM	Управление использованием спектра
SNG	Спутниковый сбор новостей
TF	Передача сигналов времени и эталонных частот
V	Словарь и связанные с ним вопросы

Примечание. – Настоящая Рекомендация МСЭ-R утверждена на английском языке в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции МСЭ-R 1.

Электронная публикация
Женева, 2013 г.

© ITU 2013

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R P.528-3*,**

Кривые распространения радиоволн для воздушной подвижной и радионавигационной служб, работающих в диапазонах ОВЧ, УВЧ и СВЧ

(Вопрос МСЭ-R 203/3)

(1978-1982-1986-2012)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации содержится метод прогнозирования основных потерь передачи в диапазоне частот 125–15 500 МГц, предназначенный для воздушной и спутниковой служб. В нем используется метод интерполяции по данным основных потерь передачи из семейств кривых. Эти семейства кривых могут использоваться для линий земля-воздух, земля-спутник, воздух-воздух, воздух-спутник и спутник-спутник. Единственными данными, необходимыми для этого метода, являются расстояния между антеннами, высоты антенн над средним уровнем моря, частота и процент времени.

Кроме того, в настоящей Рекомендации приводятся расчеты ожидаемого коэффициента защиты или отношения полезного сигнала к мешающему, превышаемого на входе приемника по крайней мере в течение 95% времени, $R(0,95)$. Для этого расчета требуются следующие дополнительные данные в отношении полезного и мешающего сигналов: мощность передатчика, усиление передающей антенны и усиление приемной антенны.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что имеется необходимость в руководстве для инженеров при планировании радиослужб в диапазонах ОВЧ, УВЧ и СВЧ;
- b) что модель распространения радиоволн, используемая для получения кривых, приведенных в Приложении 2, основана на значительном объеме экспериментальных данных (см. Приложение 1);
- c) что в воздушной службе часто предусматривается функция обеспечения безопасности человеческой жизни и поэтому в ней предъявляются более высокие требования к готовности по сравнению со многими другими службами;
- d) что для обеспечения более высокой надежности службы ее коэффициент готовности по времени должен составлять 0,95,

рекомендует,

1 чтобы кривые, приведенные в Приложении 3, были приняты для определения основных потерь передачи в течение 1%, 5%, 10%, 50% и 95% времени для высот антенн (как для наземной станции, так и для воздушного судна), которые могут использоваться в воздушных службах.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Необходимо подчеркнуть, что эти кривые основаны на данных, полученных главным образом для умеренного континентального климата.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – На этих кривых приводятся основные потери распространения, т. е. потери между идеальными изотропными антеннами без собственных потерь. В случае если влияние многолучевого распространения за счет отражения от поверхности ослабляется на входе земной станции или радиоустройства с помощью устройства защиты или направленной антенны с приемлемой диаграммой направленности излучения в вертикальной плоскости, то в анализ следует включать эти диаграммы направленности.

* Данная Рекомендация доведена до сведения 5-й Исследовательской комиссии.

** В апреле 2015 года 3-я Исследовательская комиссия по радиосвязи внесла редакционные изменения в настоящую Рекомендацию в соответствии с Резолюцией МСЭ-R 1

Приложение 1

Разработка и применение кривых

Сфера применения методов прогнозирования потерь передачи была расширена, и эти методы внедрены в модель распространения IF-77, которая определяет основные потери передачи для 1%, 5%, 10%, 50% и 95% времени для высот антенн, используемых в воздушных службах. Эти методы основаны на значительном объеме экспериментальных данных, и было проведено большое число сравнений прогнозов с этими данными. При расчетах использовалась гладкая поверхность Земли (параметр неровности местности $\Delta h = 0$) с коэффициентом эквивалентного радиуса Земли $k = 4/3$ (рефракция на поверхности $N_s = 301$) и компенсация чрезмерного отклонения луча, характерного для модели $k = 4/3$ на больших высотах. Использовались также константы горизонтальной поляризации для усредненной поверхности Земли, изотропные антенны и статистические данные о долгосрочных замираниях мощности в условиях умеренного континентального климата. Хотя для многих применений эти параметры могут считаться либо приемлемыми, либо наихудшими, кривые должны использоваться с осторожностью, если условия коренным образом отличаются от указанных выше.

Медианные значения основных потерь передачи для трасс "в пределах горизонта", за исключением области "вблизи" радиогоризонта, были получены путем добавления величины ослабления за счет атмосферного поглощения (в децибелах) к потерям передачи в свободном пространстве. В пределах области, находящейся "вблизи" радиогоризонта, значения потерь передачи рассчитывались с применением геометрической оптики, что позволяет учесть интерференцию между прямым лучом и лучом, отраженным от поверхности Земли. Участки кривых, полученные в результате применения этих двух методов, были объединены в одну кривую, которая показывает медианные значения основных потерь передачи в виде монотонно возрастающей функции от расстояния.

Двухлучевая модель интерференции специально не использовалась для расчетов в пределах горизонта, так как лепестковая структура, получаемая в этом случае для коротких трасс, сильно зависит от характеристик поверхности (неровность местности, а также электрические постоянные), атмосферных условий (эквивалентный радиус Земли изменяется со временем) и характеристик антенны (поляризация, ориентация и диаграмма усиления). Такие кривые скорее могут ввести в заблуждение, чем оказаться полезными, другими словами, конкретная структура лепестков сильно зависит от параметров, которые трудно определить с достаточной точностью. Однако статистический анализ лепестковой структуры производится при оценке изменчивости.

Для коэффициентов готовности по времени, отличных от 0,50, кривые основных потерь передачи, L_b , не всегда монотонно возрастают с увеличением расстояния. Это происходит потому, что колебания изменчивости с расстоянием иногда могут перекрывать изменения медианного уровня. Изменчивость определяется вкладом как часовых медианных или долгосрочных замираний мощности, так и влиянием внутрисюсовых или кратковременных интерференционных замираний по фазе. Краткосрочные замирания обусловлены как отражением от поверхности земли, так и тропосферной многолучевостью.

Кривые, приведенные в Приложении 3, отобраны из множества сглаженных кривых, полученных с помощью компьютера.

Кривые основных потерь передачи, $L_b(0,05)$, могут использоваться при определении значений L_b для мешающего сигнала, превышаемого в течение 95% (100% – 5%) времени. Медианные (50%) условия распространения можно оценить с помощью кривых $L_b(0,50)$. Кривые $L_b(0,95)$ можно использовать для оценки зоны обслуживания полезного сигнала, в которой обслуживание при отсутствии помех будет осуществляться в течение 95% времени.

Ожидаемый коэффициент защиты, или отношение полезного сигнала к мешающему, превышаемое на входе в приемник в течение по крайней мере 95% времени, $R(0,95)$, можно определить с помощью кривых из Приложения 3 следующим образом:

$$R(0,95) = R(0,50) + Y_R(0,95) \quad (1)$$

$$R(0,50) = [P_t + G_t + G_r - L_b(0,50)]_{Wanted} - [P_t + G_t + G_r - L_b(0,50)]_{Unwanted} \quad (2)$$

и

$$Y_R = -\sqrt{[L_b(0,95) - L_b(0,50)]_{Wanted}^2 + [L_b(0,05) - L_b(0,50)]_{Unwanted}^2}. \quad (3)$$

В уравнении (2) P_t – передаваемая мощность, а G_t и G_r – изотропные усиления передающей и приемной антенн, выраженные в дБ.

В уравнении (3) можно легко учесть дополнительную изменчивость за счет таких факторов, как усиление антенны, если их изменчивость можно определить. В приведенной выше формуле для $R(0,95)$ подразумевается непрерывное (100%) или совместное использование канала, так что влияние передатчика, работающего с перерывами, должно рассматриваться отдельно.

Несмотря на то что значения потерь передачи можно получить непосредственно из кривых, представленных на рисунках Приложения 3 к настоящей Рекомендации, эти значения имеются также в табличной форме. См. часть веб-сайта МСЭ-R, относящуюся к 3-й Исследовательской комиссии по радиосвязи. Данные в табличной форме представлены на веб-сайте ИКЗ.

Приложение 2

Описание методов интерполяции

1 Введение

В настоящем Приложении описываются отдельные этапы расчета. Пошаговое описание общего метода интерполяции приведено в п. 8 настоящего Приложения.

В разделе 2 приводится расчет напряженности поля для значения(ий) потерь передачи, полученного(ых) из кривых Приложения 3. В разделах 3–8 настоящего Приложения описывается способ интерполяции для расстояния, высот h_1 и h_2 , частоты и процента времени.

2 Эквивалентная напряженность поля

Напряженность поля, эквивалентная заданным потерям передачи, определяется формулой:

$$E = 139,3 - L_t + 20 \log f \quad \text{дБ(мкВ/м)}, \quad (4)$$

где:

E : напряженность поля (дБ(мкВ/м)) для 1 кВ э.и.м.;

L_t : потери передачи (дБ);

f : частота (МГц).

3 Высоты антенн, h_1 и h_2

Если значение h_1 или h_2 совпадает с одной из высот, для которых приведены кривые, то требуемые значения потерь передачи можно получить непосредственно из построенных кривых или относящихся к ним табличных значений. В противном случае требуемое значение потерь передачи должно быть интерполировано из значений потерь передачи, полученных по двум кривым, с использованием выражения:

$$L = L_{inf} + (L_{sup} - L_{inf}) \log(h_{1or2} / h_{inf}) / \log(h_{sup} / h_{inf}) \quad \text{дБ}, \quad (5)$$

где:

- h_1, h_2 : высоты антенн над средним уровнем моря, для которых требуется прогноз (м);
- h_{inf} : ближайшая номинальная эффективная высота, которая меньше h_1 или h_2 ;
- h_{sup} : ближайшая номинальная эффективная высота, которая больше h_1 или h_2 ;
- L_{inf} : значение потерь передачи для h_{inf} на требуемом расстоянии;
- L_{sup} : значение потерь передачи для h_{sup} на требуемом расстоянии.

4 Интерполяция потерь передачи как функция расстояния

Если d не совпадает ни с одним из значений расстояний, приведенных в табличной форме, то потери передачи следует линейно интерполировать для логарифма расстояния с использованием выражения:

$$L = L_{inf} + (L_{sup} - L_{inf}) \log(d / d_{inf}) / \log(d_{sup} / d_{inf}) \quad \text{дБ}, \quad (6)$$

где:

- d : расстояние, для которого требуется прогноз (км);
- d_{inf} : ближайшее табличное значение расстояния, которое меньше d ;
- d_{sup} : ближайшее табличное значение расстояния, которое больше d ;
- L_{inf} : значение потерь передачи для d_{inf} ;
- L_{sup} : значение потерь передачи для d_{sup} .

5 Интерполяция потерь передачи как функция частоты

Если частота для прогноза не является одной из частот, представленных на рисунках настоящей Рекомендации или приведенных в табличных данных, то требуемые потери передачи следует рассчитывать с использованием выражения:

$$L = L_{inf} + (L_{sup} - L_{inf}) \log(f / f_{inf}) / \log(f_{sup} / f_{inf}) \quad \text{дБ}, \quad (7)$$

где:

- f : частота, для которой требуется прогноз (МГц);
- f_{inf} : нижняя номинальная частота;
- f_{sup} : верхняя номинальная частота;
- L_{inf} : значение потерь передачи для f_{inf} ;
- L_{sup} : значение потерь передачи для f_{sup} .

6 Интерполяция потерь передачи как функция процента времени

Значения потерь передачи для заданного процента времени следует рассчитывать методом интерполяции с использованием выражения:

$$L = L_{sup}(Q_{inf} - Q_t)/(Q_{inf} - Q_{sup}) + L_{inf}(Q_t - Q_{sup})/(Q_{inf} - Q_{sup}) \quad \text{дБ}, \quad (8)$$

где:

- t : процент времени, для которого требуется прогноз;
- t_{inf} : нижний номинальный процент времени;
- t_{sup} : верхний номинальный процент времени;
- $Q_t = Q_i(t/100)$;
- $Q_{inf} = Q_i(t_{inf}/100)$;
- $Q_{sup} = Q_i(t_{sup}/100)$;
- L_{inf} : значение потерь передачи для процента времени t_{inf} ;
- L_{sup} : значение потерь передачи для процента времени t_{sup} .

где $Q_i(x)$ – обратная дополнительная кумулятивная функция нормального распределения, описанная в п. 7.

7 Аппроксимация обратной дополнительной кумулятивной функции нормального распределения

Следующая аппроксимация обратной дополнительной кумулятивной функции нормального распределения, $Q_i(x)$, действительна для $0,01 \leq x \leq 0,99$:

$$Q_i(x) = T(x) - \xi(x), \quad \text{если } x \leq 0,5 \quad (9a)$$

$$Q_i(x) = -\{T(1-x) - \xi(1-x)\}, \quad \text{если } x > 0,5, \quad (9b)$$

где:

$$T(x) = \sqrt{[-2 \ln(x)]} \quad (9c)$$

$$\xi(x) = \frac{[(C_2 \cdot T(x) + C_1) \cdot T(x)] + C_0}{[(D_3 \cdot T(x) + D_2) \cdot T(x) + D_1] \cdot T(x) + 1} \quad (9d)$$

$$C_0 = 2,515517;$$

$$C_1 = 0,802853;$$

$$C_2 = 0,010328;$$

$$D_1 = 1,432788;$$

$$D_2 = 0,189269;$$

$$D_3 = 0,001308.$$

Значения, задаваемые указанными выше уравнениями, приведены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1

**Приблизительные значения обратного дополнительного кумулятивного
нормального распределения**

$q\%$	$Q_i (q/100)$						
1	2,327	26	0,643	51	-0,025	76	-0,706
2	2,054	27	0,612	52	-0,050	77	-0,739
3	1,881	28	0,582	53	-0,075	78	-0,772
4	1,751	29	0,553	54	-0,100	79	-0,806
5	1,645	30	0,524	55	-0,125	80	-0,841
6	1,555	31	0,495	56	-0,151	81	-0,878
7	1,476	32	0,467	57	-0,176	82	-0,915
8	1,405	33	0,439	58	-0,202	83	-0,954
9	1,341	34	0,412	59	-0,227	84	-0,994
10	1,282	35	0,385	60	-0,253	85	-1,036
11	1,227	36	0,358	61	-0,279	86	-1,080
12	1,175	37	0,331	62	-0,305	87	-1,126
13	1,126	38	0,305	63	-0,331	88	-1,175
14	1,080	39	0,279	64	-0,358	89	-1,227
15	1,036	40	0,253	65	-0,385	90	-1,282
16	0,994	41	0,227	66	-0,412	91	-1,341
17	0,954	42	0,202	67	-0,439	92	-1,405
18	0,915	43	0,176	68	-0,467	93	-1,476
19	0,878	44	0,151	69	-0,495	94	-1,555
20	0,841	45	0,125	70	-0,524	95	-1,645
21	0,806	46	0,100	71	-0,553	96	-1,751
22	0,772	47	0,075	72	-0,582	97	-1,881
23	0,739	48	0,050	73	-0,612	98	-2,054
24	0,706	49	0,025	74	-0,643	99	-2,327
25	0,674	50	0,000	75	-0,674		

8 Процедура интерполирования значений в данной Рекомендации

Приведенная ниже пошаговая процедура предназначена для применения к значениям, которые получены из таблиц зависимости напряженности поля от расстояний, предоставленных Бюро радиосвязи. Тем не менее она может также применяться к значениям, полученным из кривых.

Шаг 1: Для любого заданного процента времени определите два номинальных процента времени следующим образом:

- отметьте ближайший номинальный процент времени, который меньше требуемого процента времени (это будет нижнее номинальное значение, t_{inf});
- отметьте ближайший номинальный процент времени, который больше требуемого процента времени (это будет верхнее номинальное значение, t_{sup}).

Если требуемый процент времени равен 1%, 5%, 10%, 50% или 95%, то это значение следует считать нижним номинальным процентом времени, и применение приведенного в шаге 8 процесса интерполяции не требуется.

Шаг 2: Для любой требуемой частоты определите две номинальных частоты следующим образом:

- отметьте ближайшую номинальную частоту, которая меньше требуемой частоты (это будет нижнее номинальное значение, f_{inf});
- отметьте ближайшую номинальную частоту, которая больше требуемой частоты (это будет верхнее номинальное значение, f_{sup}).

Если требуемая частота равна одной из частот, приведенных на графиках или в табличных данных, то это значение следует считать нижней номинальной частотой, и применение приведенного в шаге 7 процесса интерполяции не требуется.

Шаг 3: Для любого требуемого расстояния определите два номинальных расстояния следующим образом:

- отметьте ближайшее номинальное расстояние, которое меньше требуемого расстояния (это будет нижнее номинальное значение, d_{inf});
- отметьте ближайшее номинальное расстояние, которое больше требуемого расстояния (это будет верхнее номинальное значение, d_{sup}).

Если требуемое расстояние равно одному из расстояний, приведенных на графиках или в табличных данных, то это значение следует считать нижним номинальным расстоянием, и применение приведенного в шаге 7 процесса интерполяции не требуется.

Шаг 4: Для нижнего номинального процента времени следуйте шагам 5–8.

Шаг 5: Для нижней номинальной частоты следуйте шагам 6 и 7.

Шаг 6: Определить потери передачи для требуемого расстояния и высоты передающей антенны/антенны базовой станции следующим образом:

Шаг 6.1: Определите нижнее и верхнее номинальные значения h_2 , используя метод, приведенный в п. 3 Приложения 2. Если высота h_2 совпадает с одним из номинальных значений, приведенных на графиках или в табличных данных, то ее следует считать нижним номинальным значением h_2 , и применение приведенного в шаге 6.9 процесса интерполяции не требуется.

Шаг 6.2: Определите нижнее и верхнее номинальные значения h_1 , используя метод, приведенный в п. 3 Приложения 2. Если высота h_1 совпадает с одним из номинальных значений, приведенных на графиках или в табличных данных, то ее следует считать нижним номинальным значением h_1 , и применение приведенного в шаге 6.8 процесса интерполяции не требуется.

Шаг 6.3: Для нижнего номинального значения h_2 следуйте шагам 6.4–6.6.

Шаг 6.4: Для нижнего номинального значения h_1 следуйте шагам 6.5–6.6.

Шаг 6.5: Для нижнего номинального значения расстояния следуйте шагу 6.6.

Шаг 6.6: Получите значение потерь передачи для требуемых значений расстояния, d , и высоты передающей антенны/базовой станции, h_1 .

Шаг 6.7: Если требуемое расстояние не совпадает с нижним номинальным расстоянием, то повторите шаг 6.6 для верхнего номинального расстояния и интерполируйте два значения потерь передачи для требуемого расстояния, используя метод, приведенный в п. 4 Приложения 2.

Шаг 6.8: Если требуемая высота, h_1 , не совпадает ни с одним из номинальных значений, то повторите шаги 6.5–6.7 и интерполируйте два значения потерь передачи для h_1 , используя метод, приведенный в п. 3 Приложения 2.

Шаг 6.9: Если требуемая высота, h_2 , не совпадает ни с одним из номинальных значений, то повторите шаги 6.5–6.8 и интерполируйте два значения потерь передачи для h_2 , используя метод, приведенный в п. 3 Приложения 2.

Шаг 7: Если требуемая частота не совпадает с нижней номинальной частотой, то повторите шаг 6 для верхней номинальной частоты и интерполируйте два значения потерь передачи, используя метод, приведенный в п. 5 Приложения 2.

Шаг 8: Если требуемый процент времени не совпадает с нижним номинальным процентом времени, то повторите шаги 5–7 для верхнего номинального процента времени и интерполируйте два значения потерь передачи, используя метод, приведенный в п. 6 Приложения 2.

Шаг 9: При необходимости, преобразуйте потери передачи в эквивалентную напряженность поля для этой трассы, используя метод, приведенный в п. 2 Приложения 2.

Приложение 3

Описание кривых

Кривые для воздушных служб приведены на рис. 1-1–8-5. Необходимо отметить следующие моменты:

1 На рис. 1-1–8-5 показаны медианные значения основных потерь передачи, L_b , для каждой из переменных $L_b(0,01)$, $L_b(0,05)$, $L_b(0,10)$, $L_b(0,50)$ и $L_b(0,95)$ на частотах 125, 300, 600, 1200, 2400, 5100, 9400 и 15 500 МГц. Они соответствуют готовности по времени 1, 5, 10, 50 и 95%. Например, $L_b(0,95) = 200$ дБ означает, что основные потери передачи будут составлять 200 дБ или менее в течение 95% времени.

2 Каждый рисунок состоит из трех семейств кривых, где верхнее, среднее и нижнее семейства относятся к значениям h_2 равным, соответственно, 1000, 10 000 и 20 000 м.

3 Показанные высоты антенн, h_1 , изменяются от 1,5 м до 20 000 м, охватывая высоты антенн как наземных станций, так и воздушных судов.

4 Вопросы разработки и применения этих кривых рассматриваются в Приложении 1.

5 При нулевом расстоянии $L_b(0,50)$ представляет собой значение потерь передачи в свободном пространстве, соответствующее протяженности трассы, равной разности высот антенн. Приведенные кривые для свободного пространства рассчитаны для разности высот от 19 985 м.

РИСУНОК 1-1

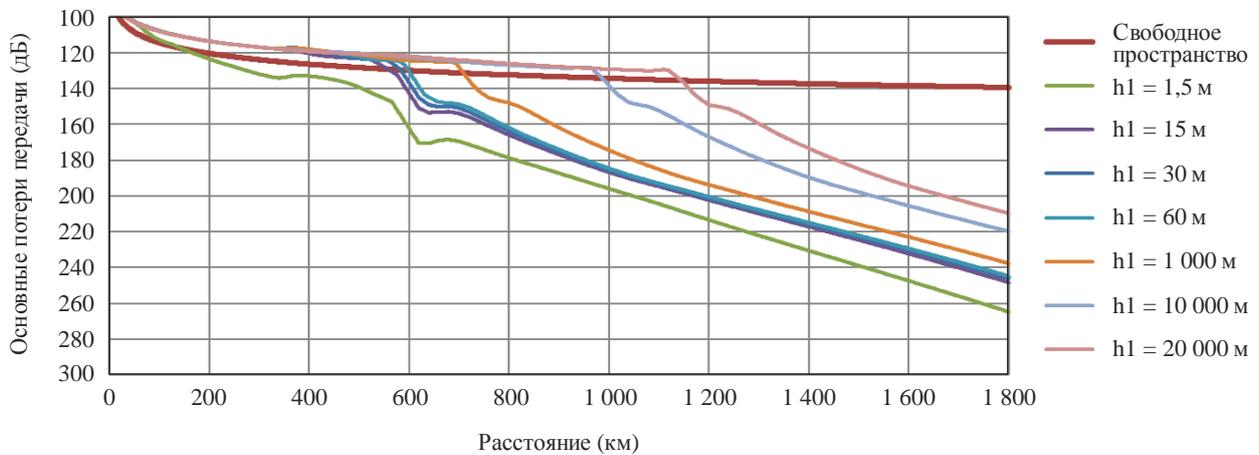
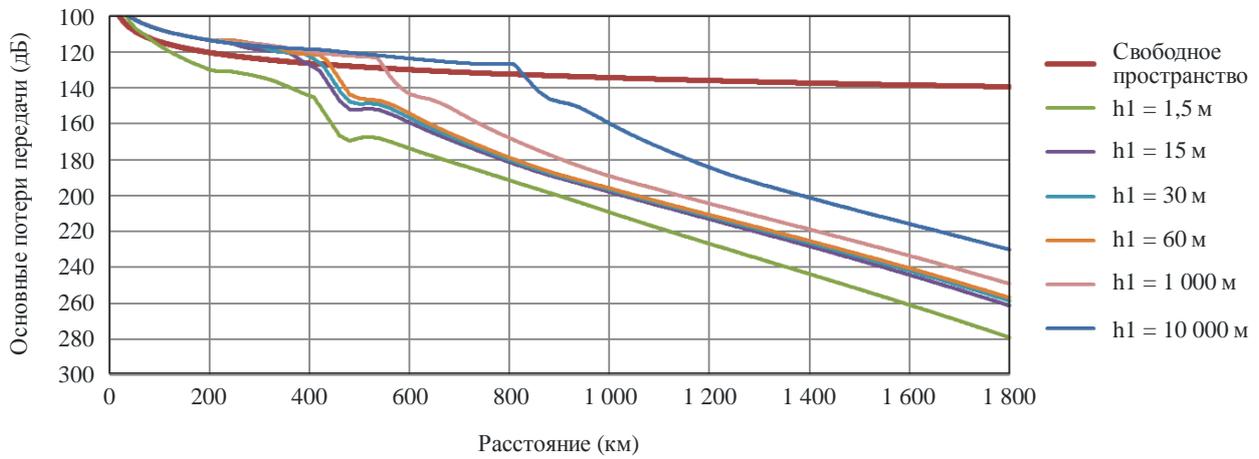
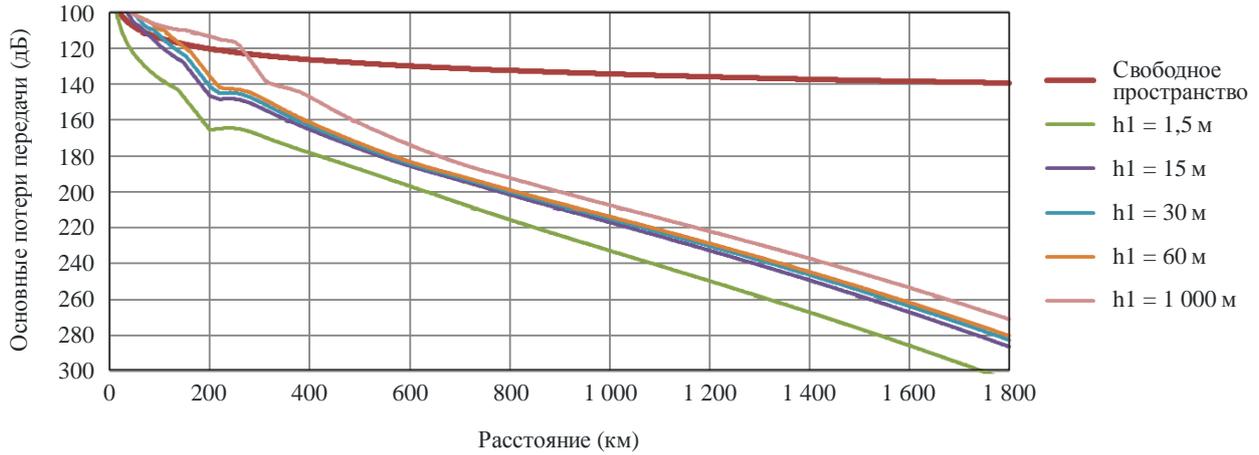
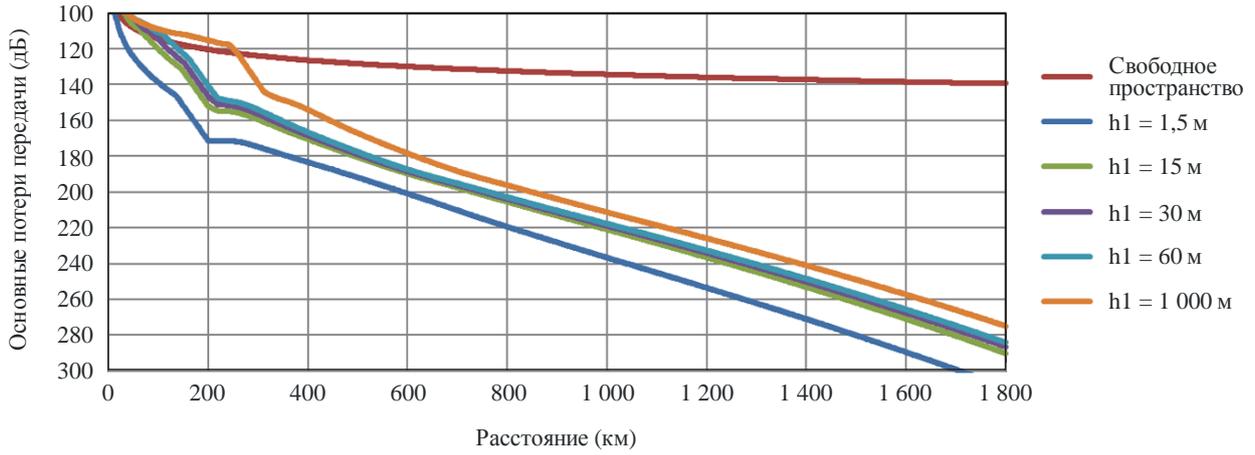
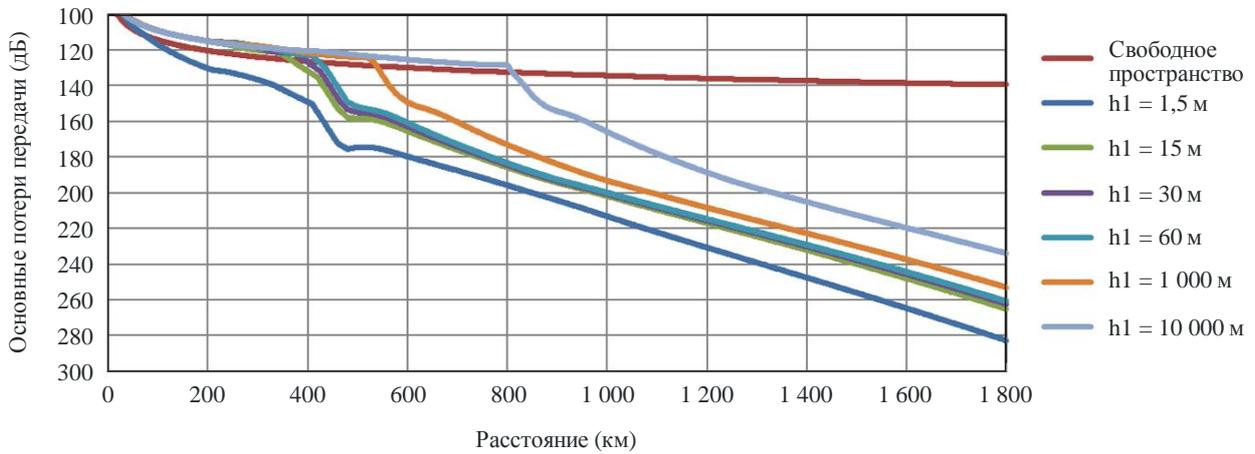
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 125 МГц для 1% времени для значений h_1 

РИСУНОК 1-2

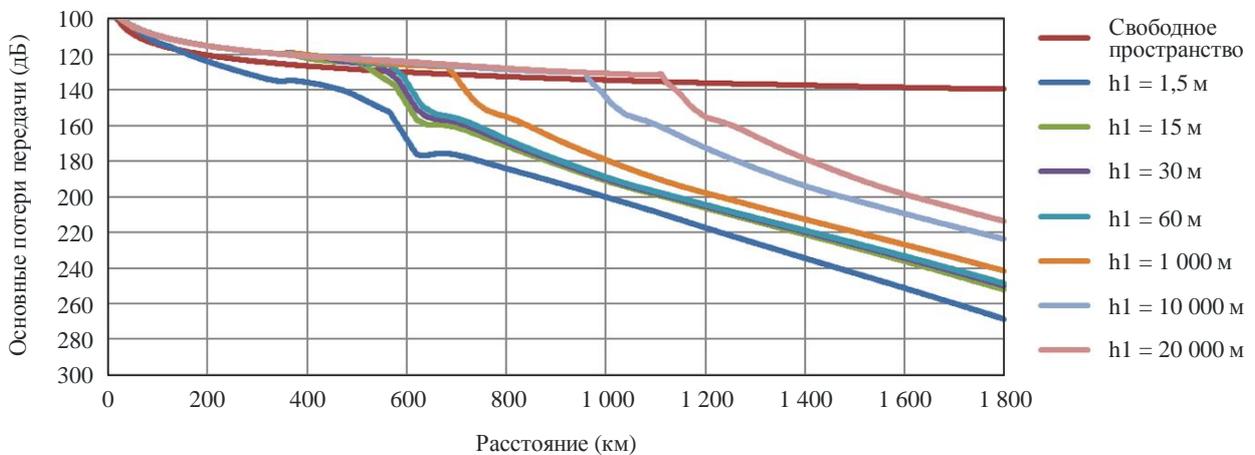
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 125 МГц для 5% времени для значений h_1



а) $h_2 = 1\ 000$ м



б) $h_2 = 10\ 000$ м



в) $h_2 = 20\ 000$ м

РИСУНОК 1-3

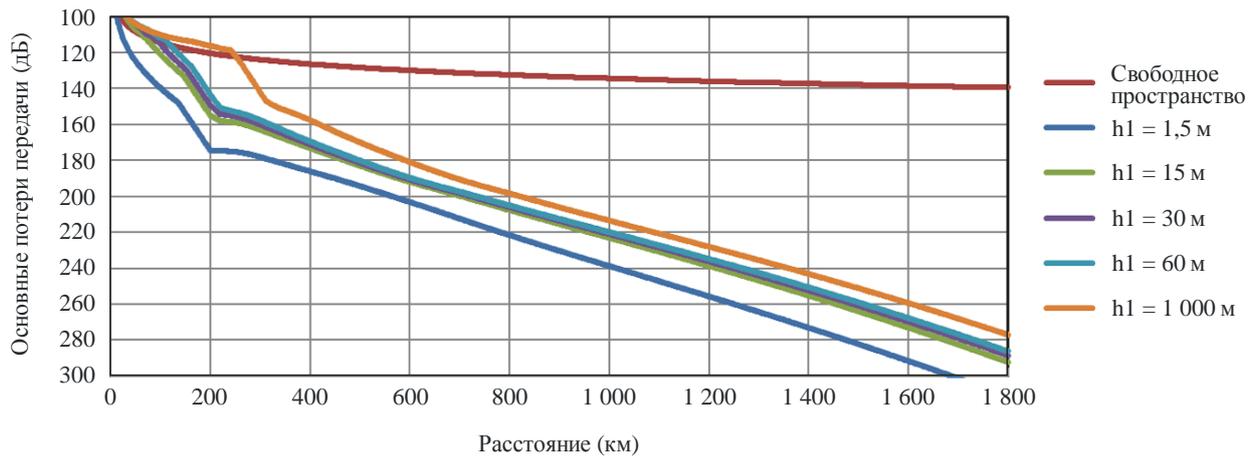
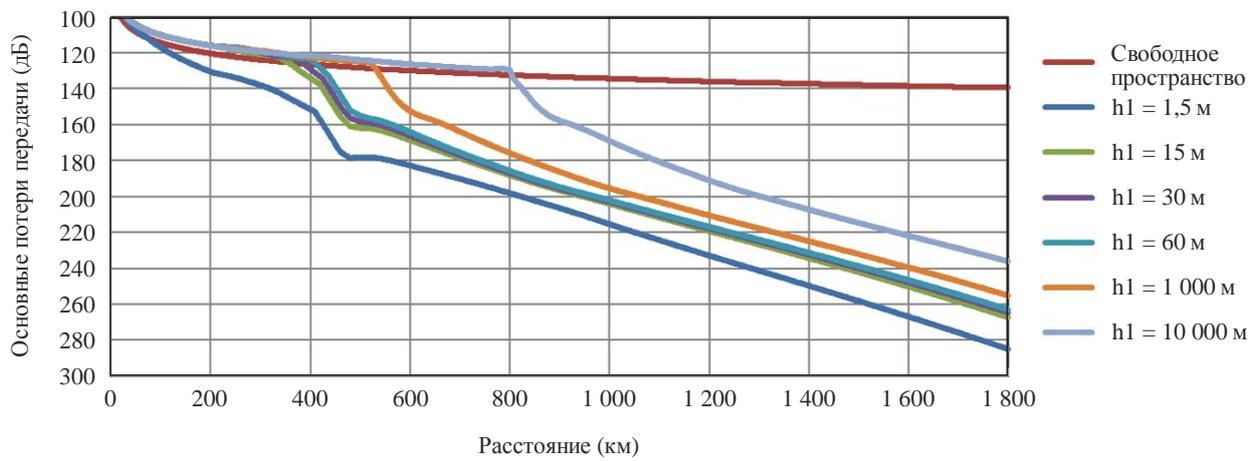
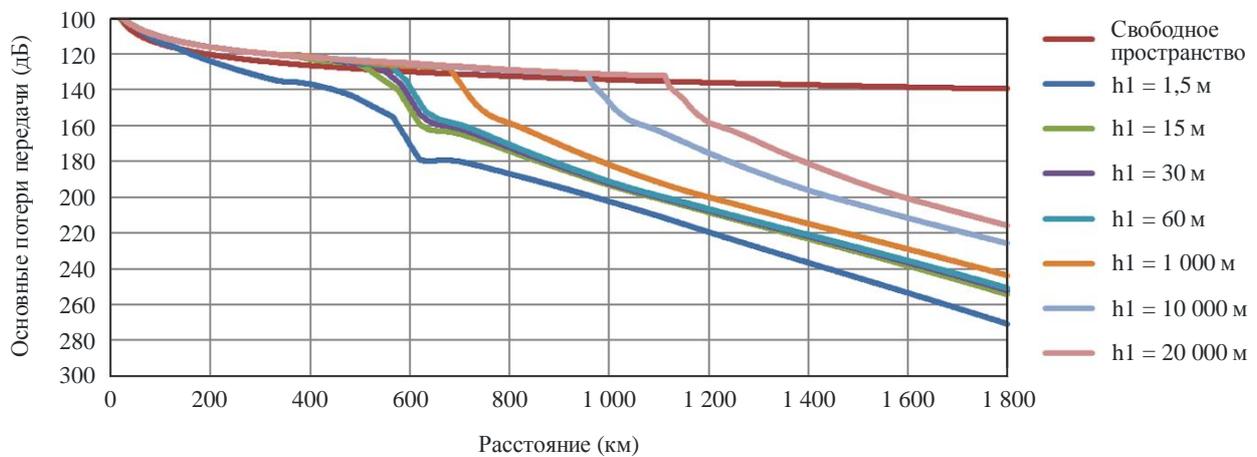
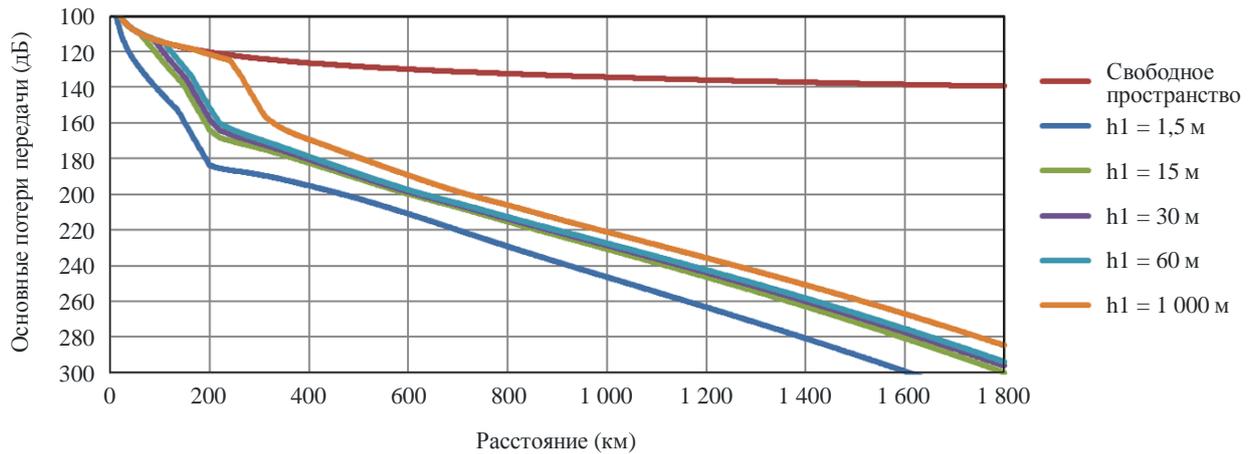
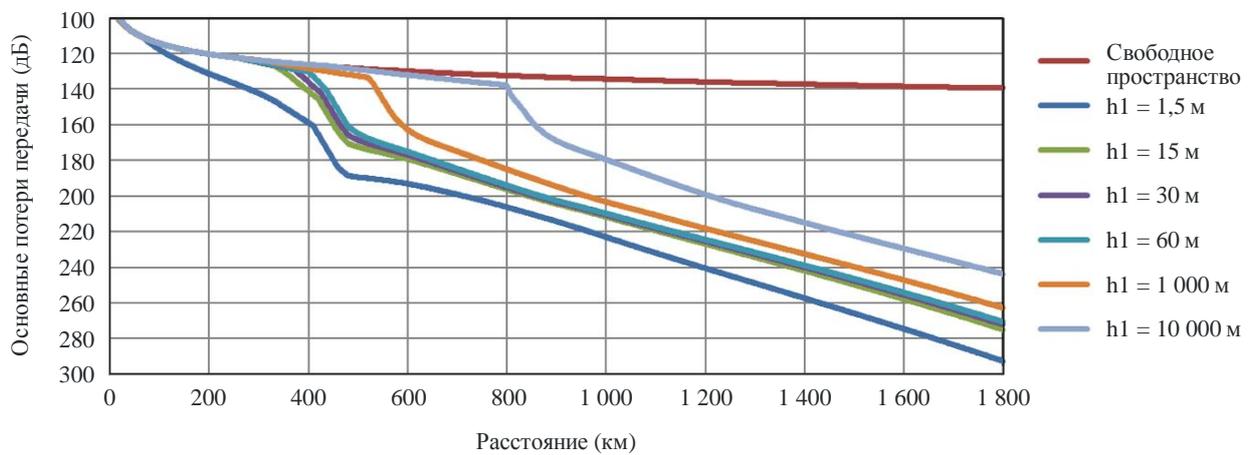
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 125 МГц для 10% времени для значений h_1 а) $h_2 = 1\,000$ мб) $h_2 = 10\,000$ мв) $h_2 = 20\,000$ м

РИСУНОК 1-4

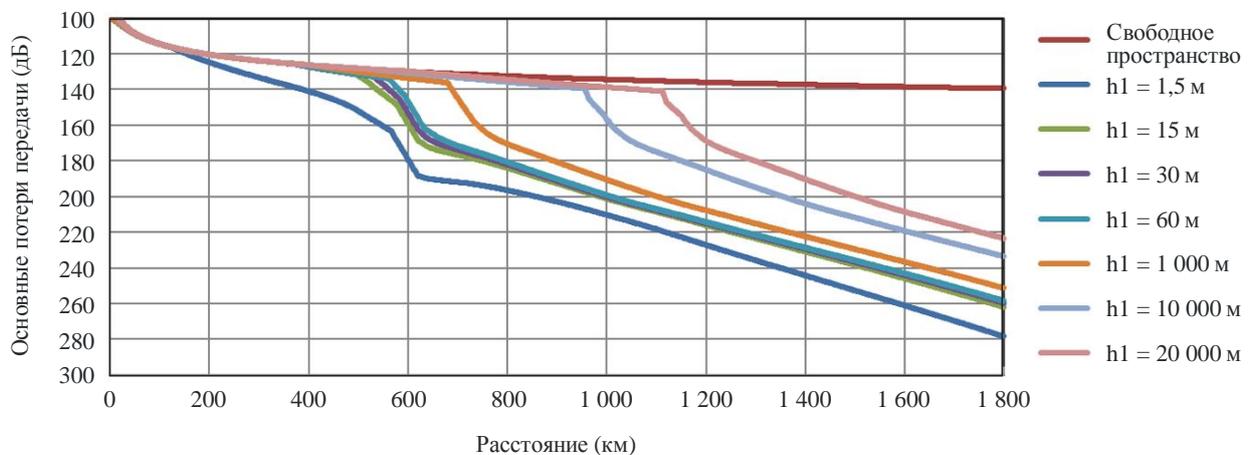
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 125 МГц для 50% времени для значений h_1



а) $h_2 = 1\ 000$ м



б) $h_2 = 10\ 000$ м



в) $h_2 = 20\ 000$ м

РИСУНОК 1-5

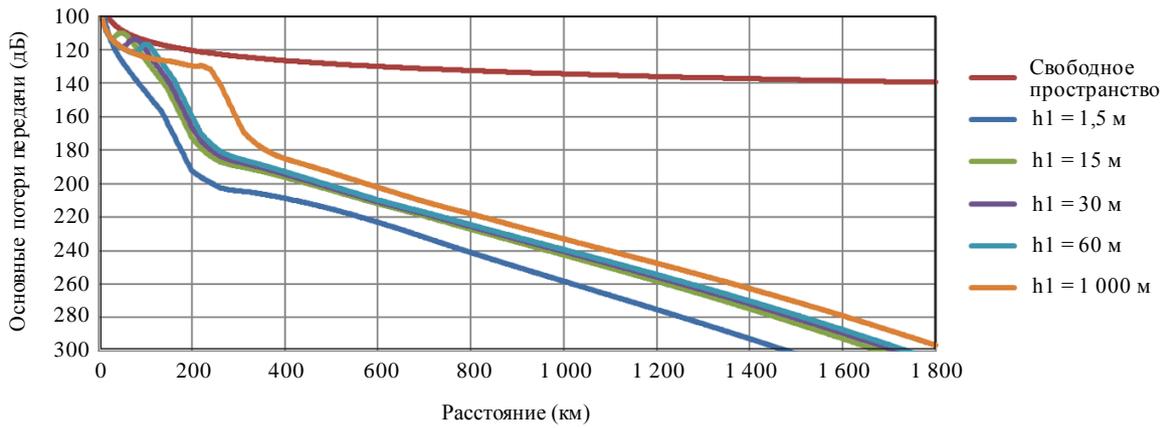
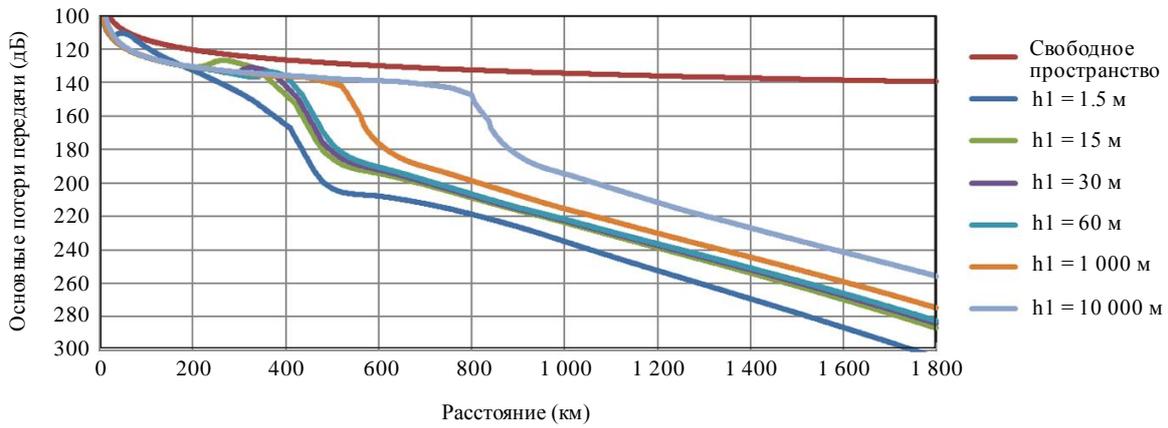
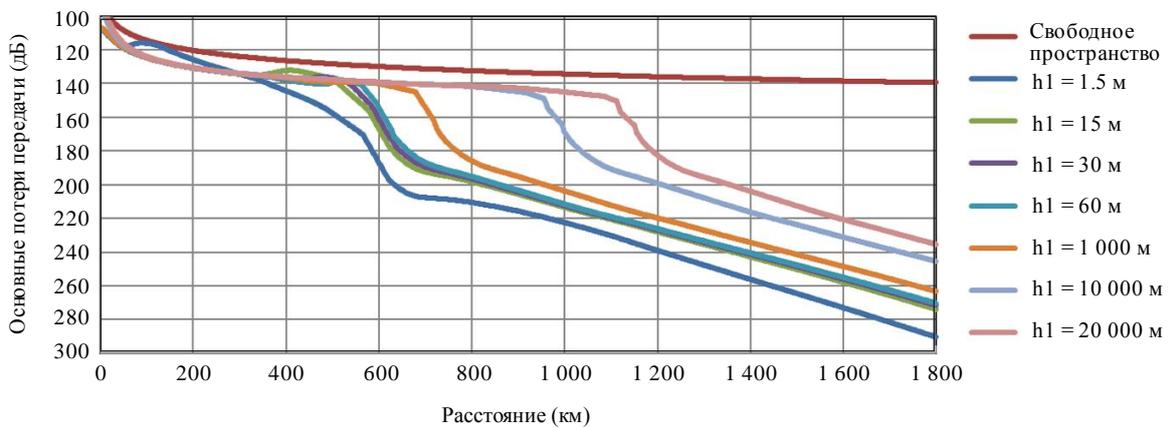
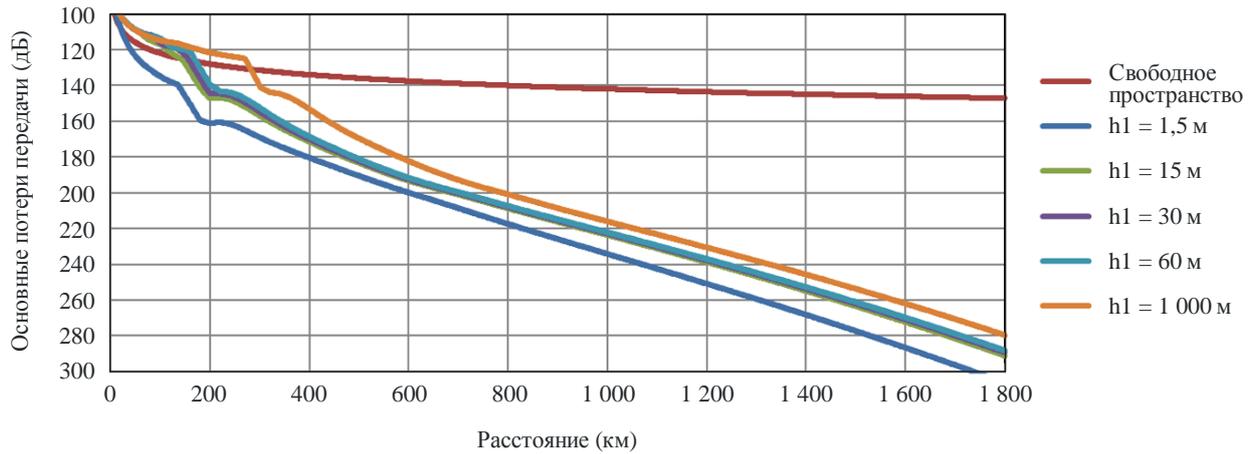
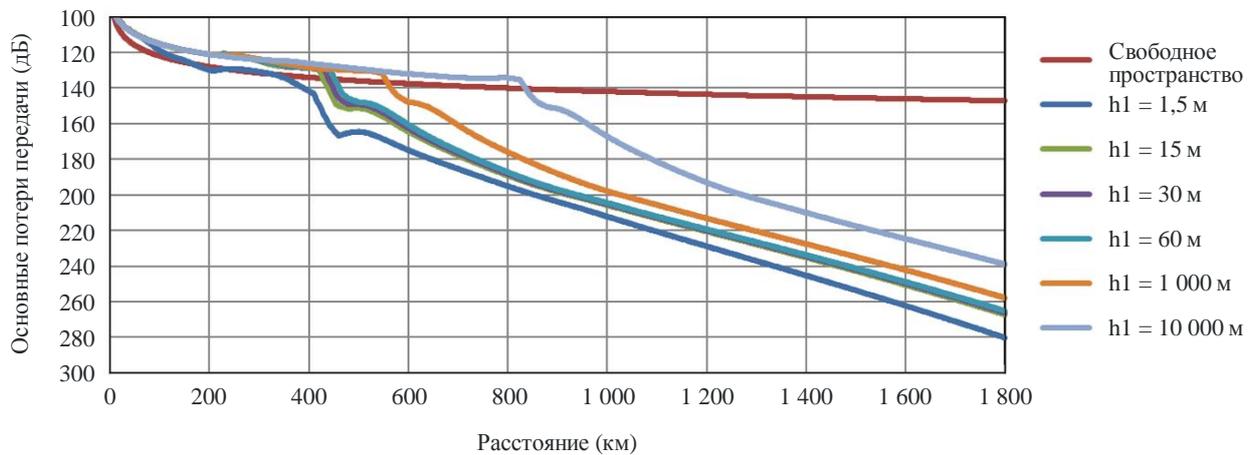
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 125 МГц для 95% времени для значений h_1 а) $h_2 = 1000$ мб) $h_2 = 10000$ мв) $h_2 = 20000$ м

РИСУНОК 2-1

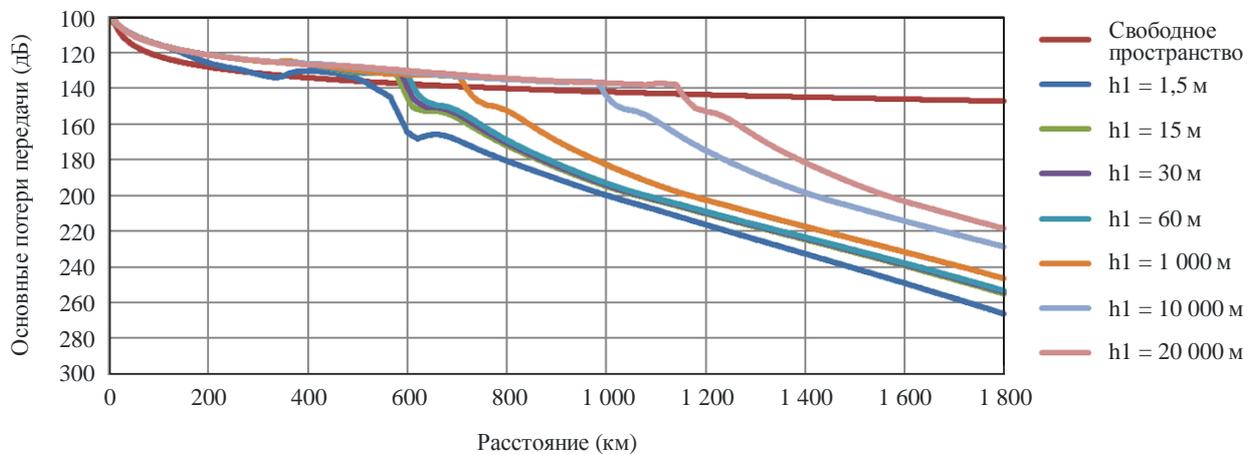
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 300 МГц для 1% времени для значений h_1



а) $h_2 = 1000$ м



б) $h_2 = 10000$ м



в) $h_2 = 20000$ м

РИСУНОК 2-2

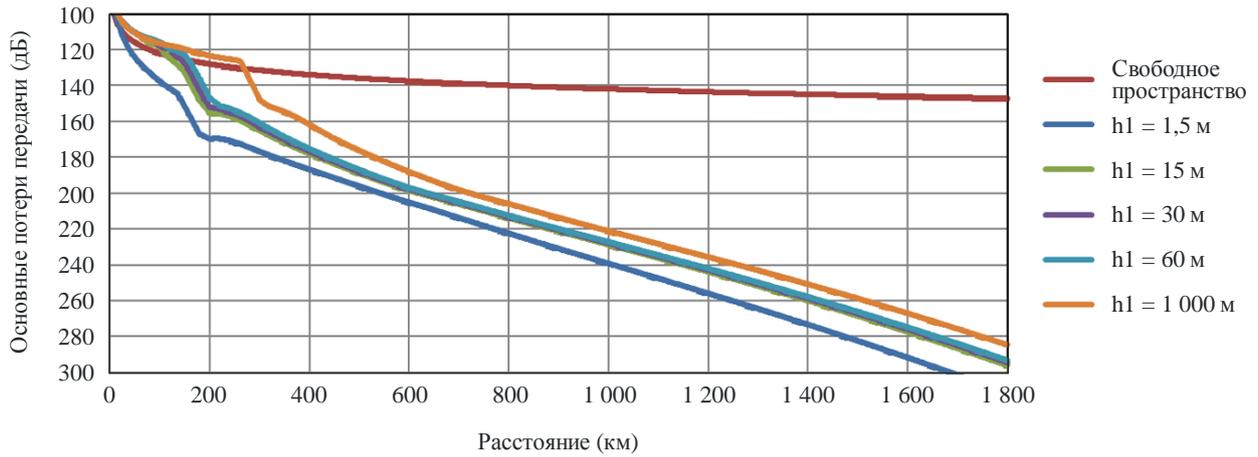
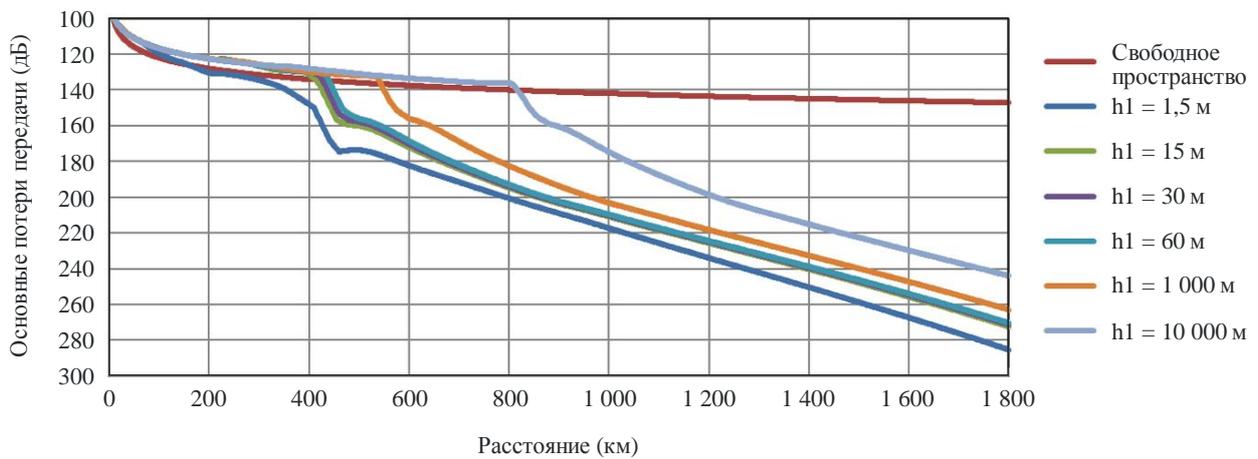
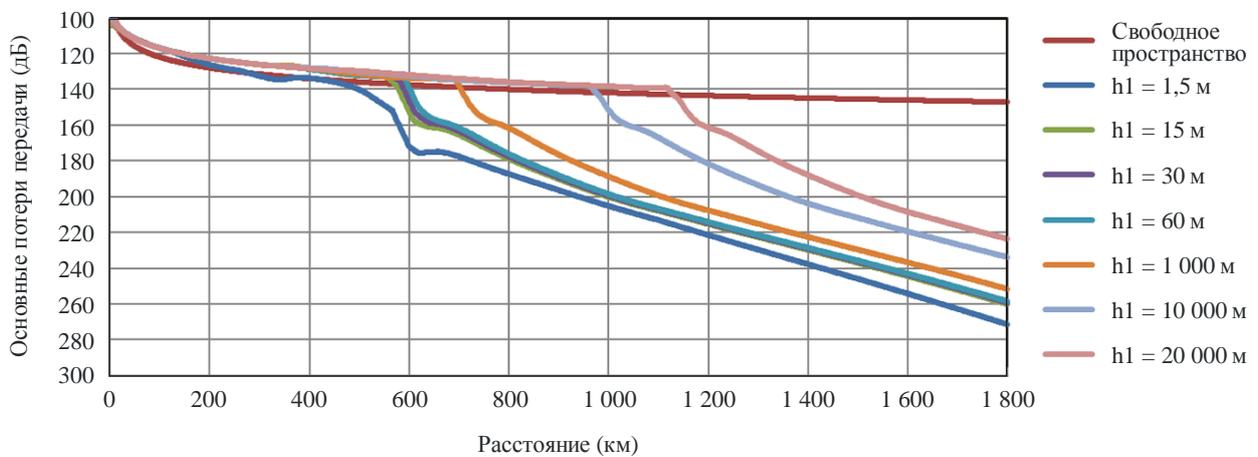
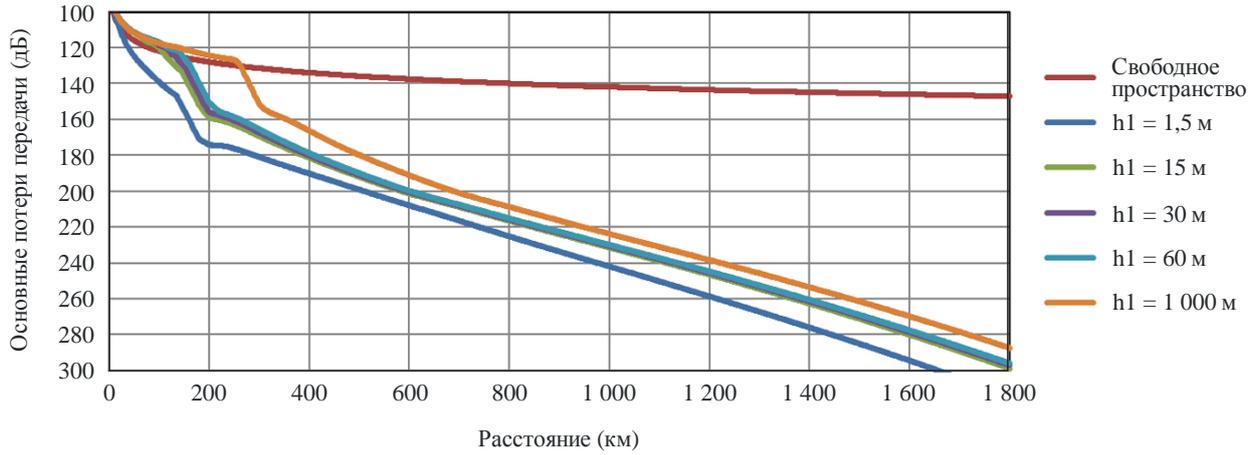
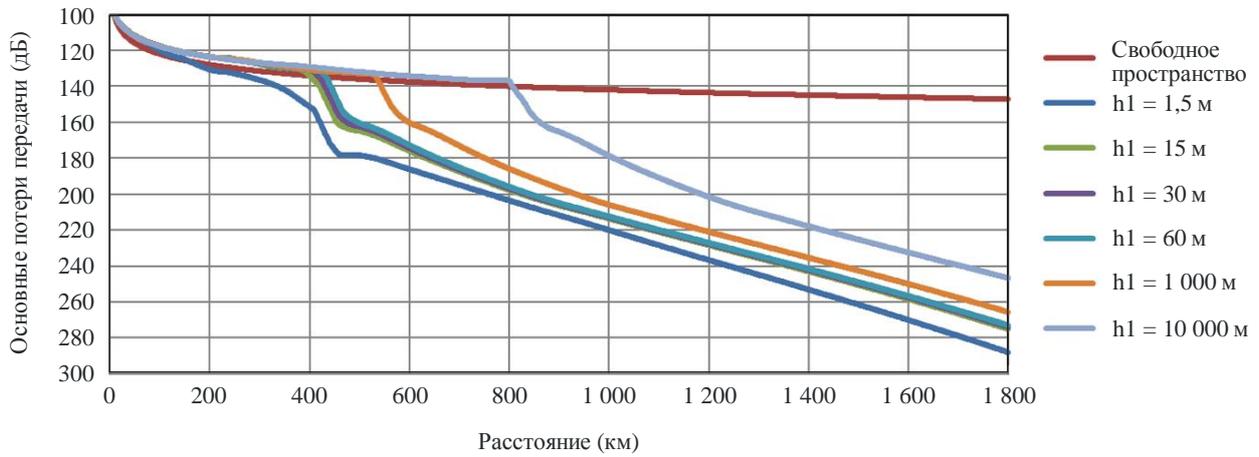
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 300 МГц для 5% времени для значений h_1 а) $h_2 = 1\,000$ мб) $h_2 = 10\,000$ мв) $h_2 = 20\,000$ м

РИСУНОК 2-3

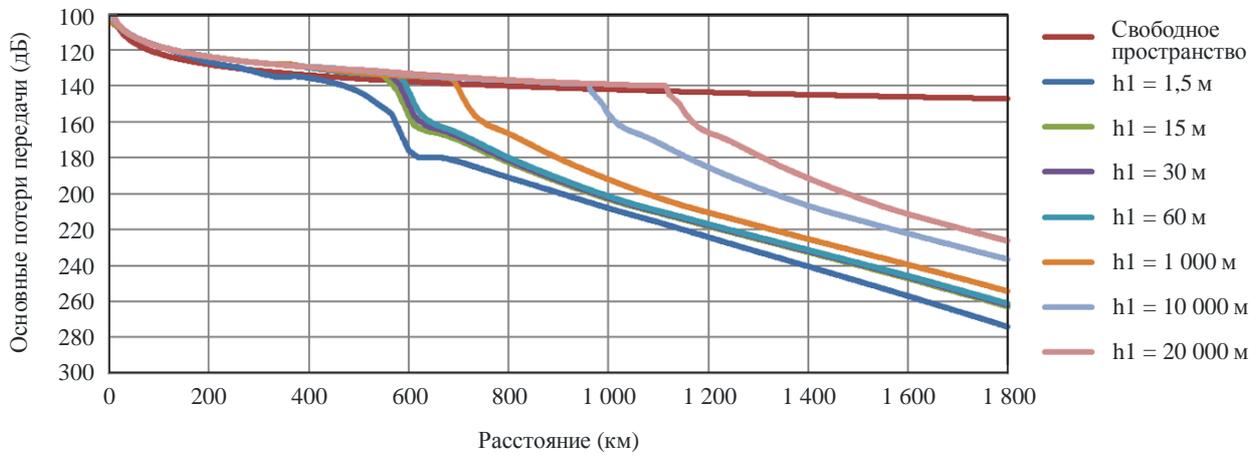
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 300 МГц для 10% времени для значений h_1



а) $h_2 = 1\ 000$ м



б) $h_2 = 10\ 000$ м



в) $h_2 = 20\ 000$ м

РИСУНОК 2-4

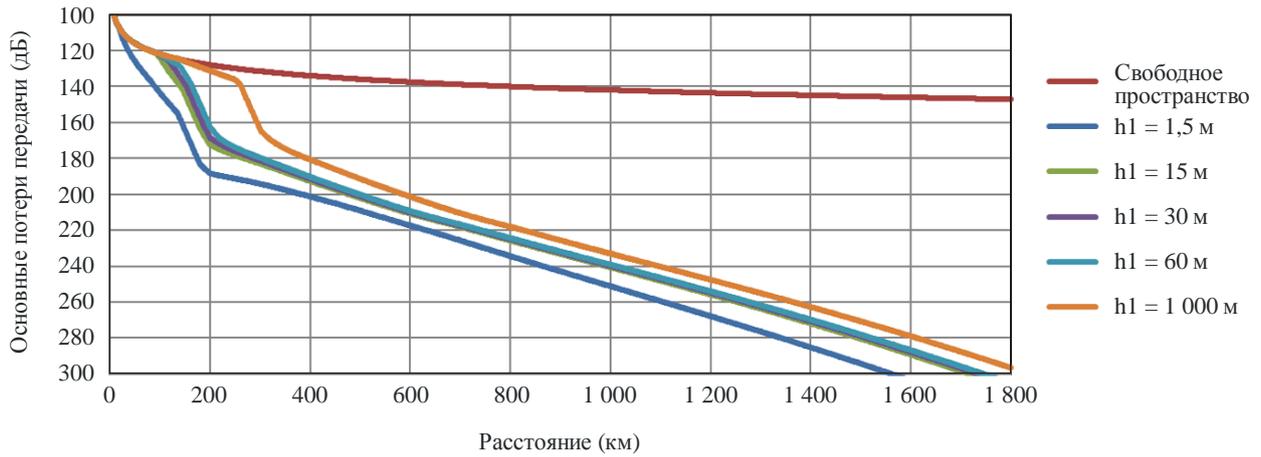
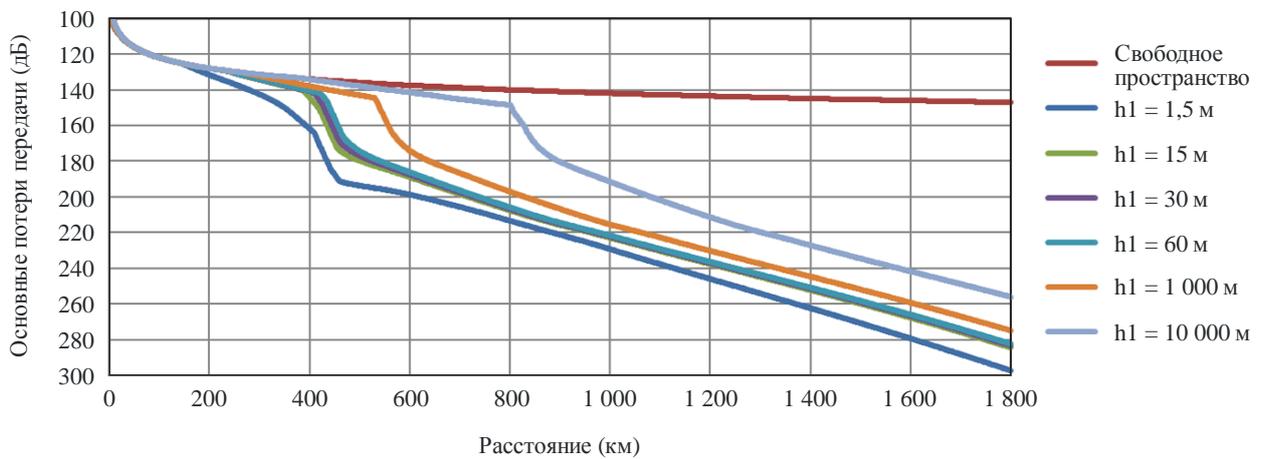
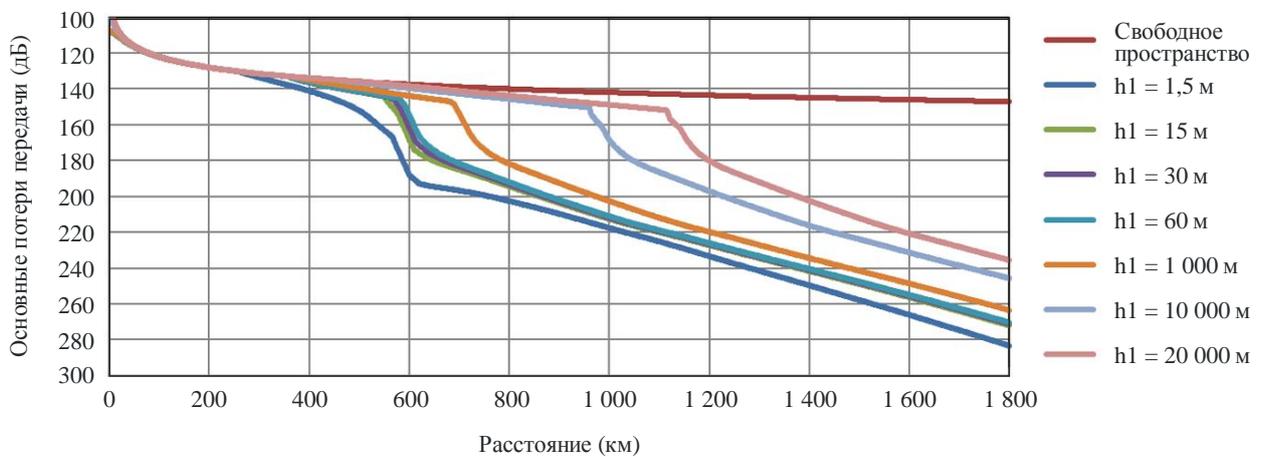
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 300 МГц для 50% времени для значений h_1 а) $h_2 = 1\,000$ мб) $h_2 = 10\,000$ мв) $h_2 = 20\,000$ м

РИСУНОК 2-5

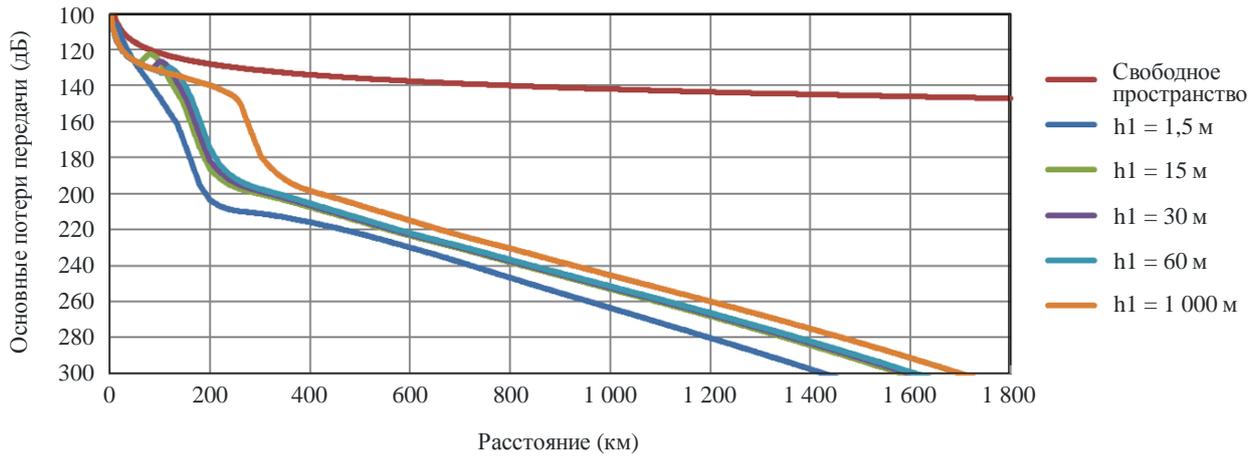
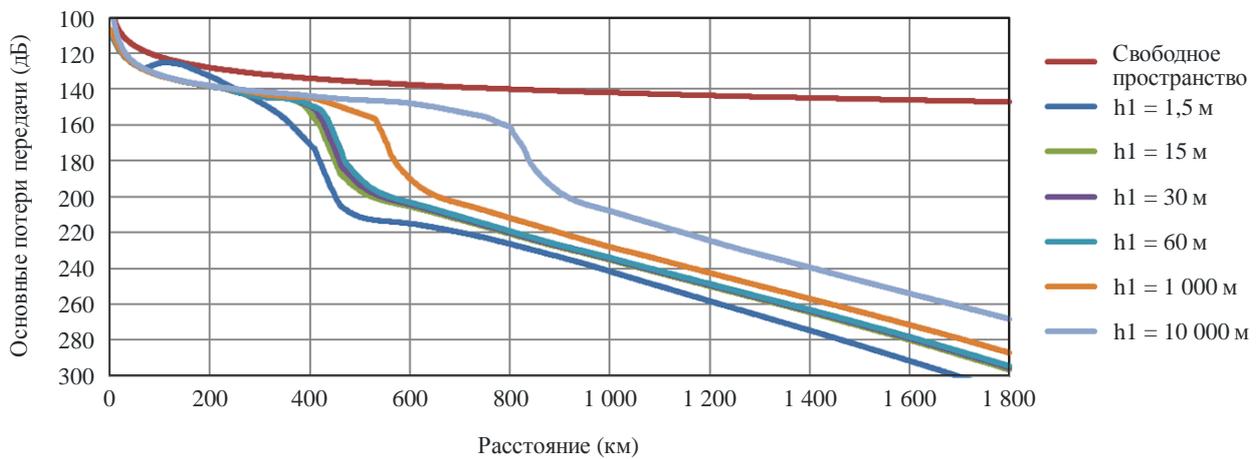
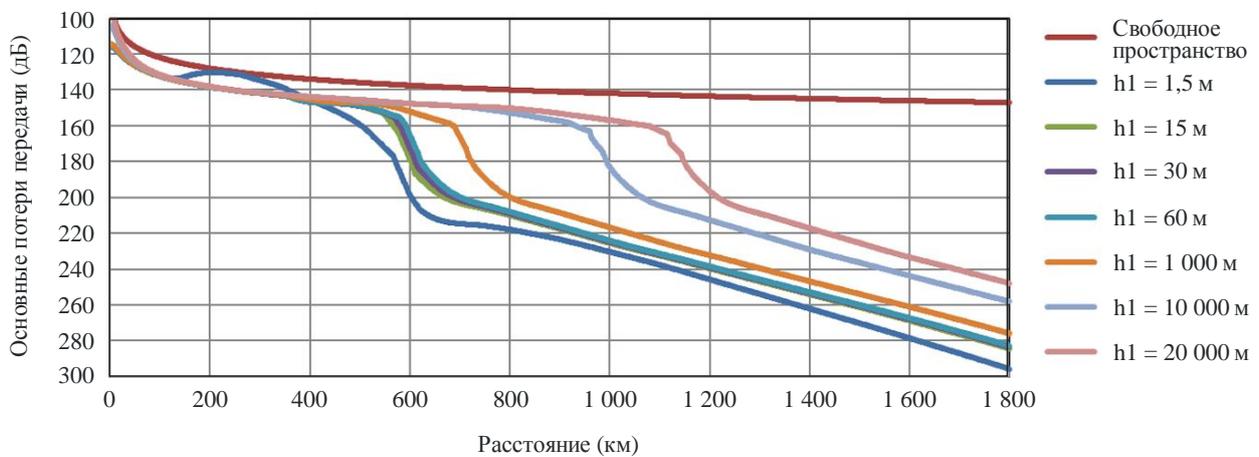
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 300 МГц для 95% времени для значений h_1 а) $h_2 = 1000$ мб) $h_2 = 10000$ мв) $h_2 = 20000$ м

РИСУНОК 3-1

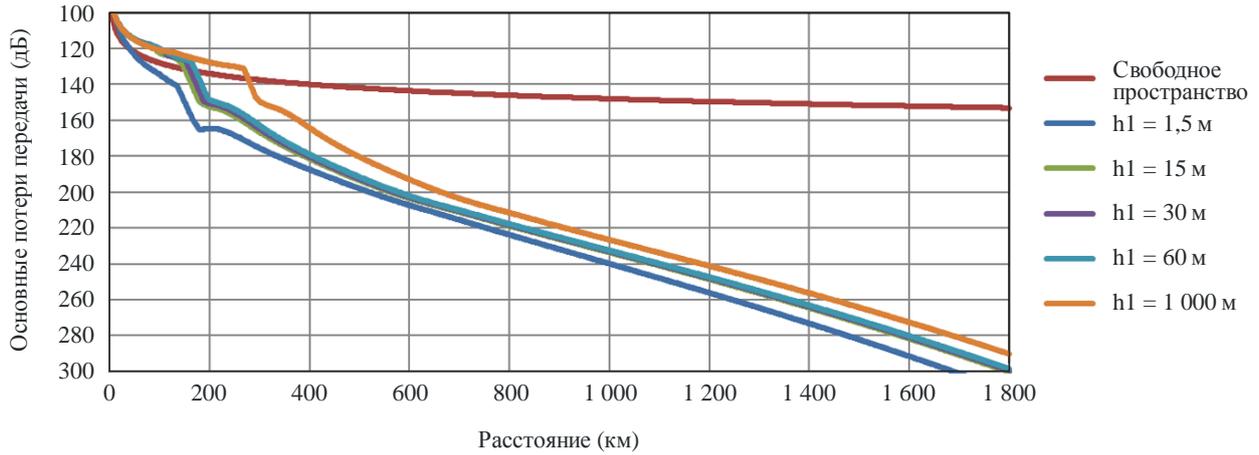
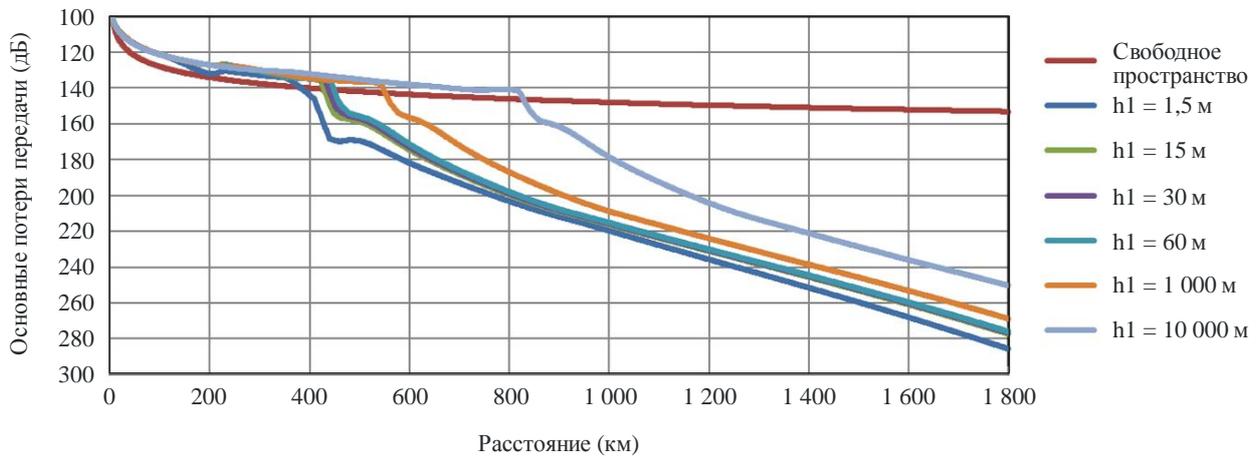
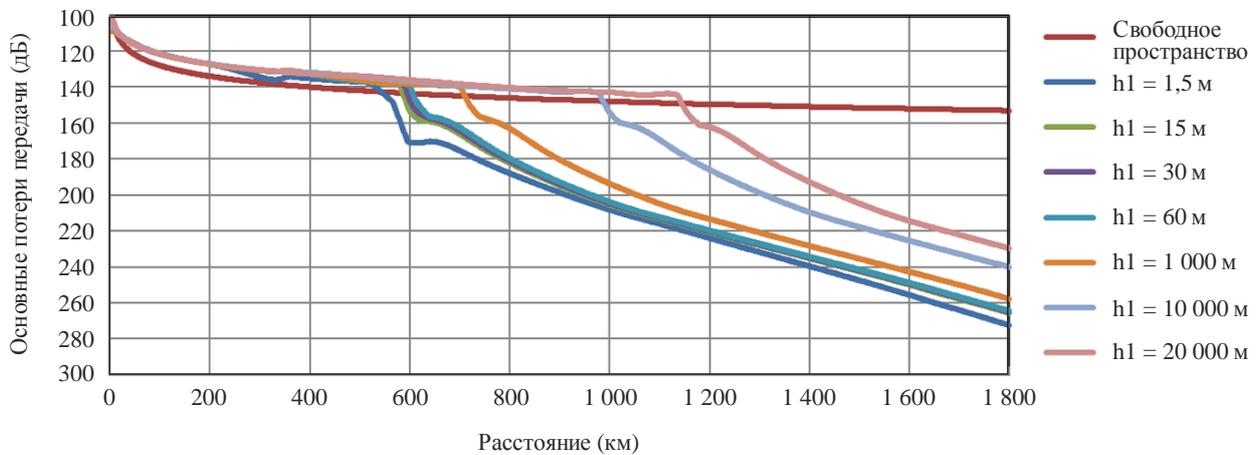
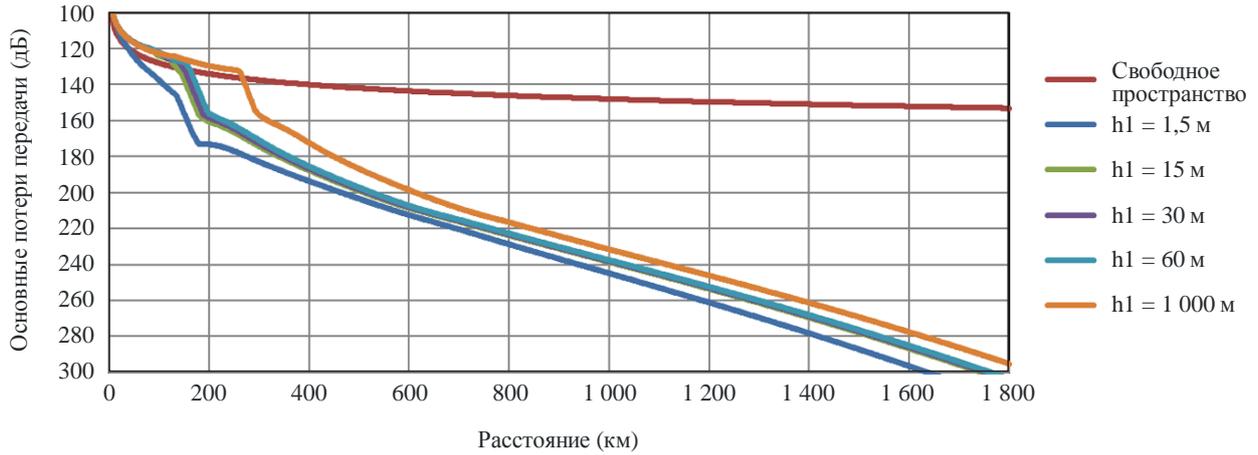
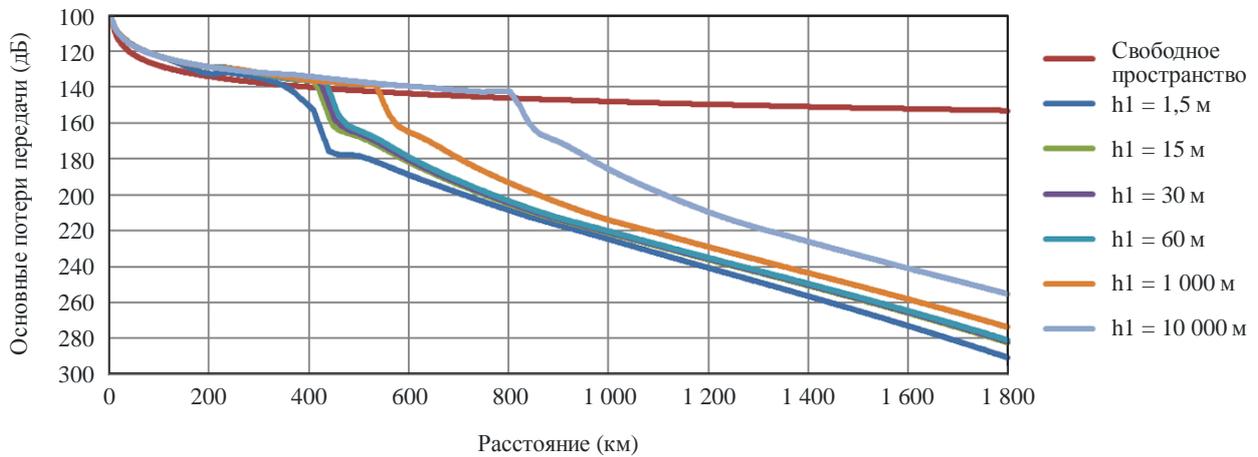
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 600 МГц для 1% времени для значений h_1 а) $h_2 = 1\,000$ мб) $h_2 = 10\,000$ мв) $h_2 = 20\,000$ м

РИСУНОК 3-2

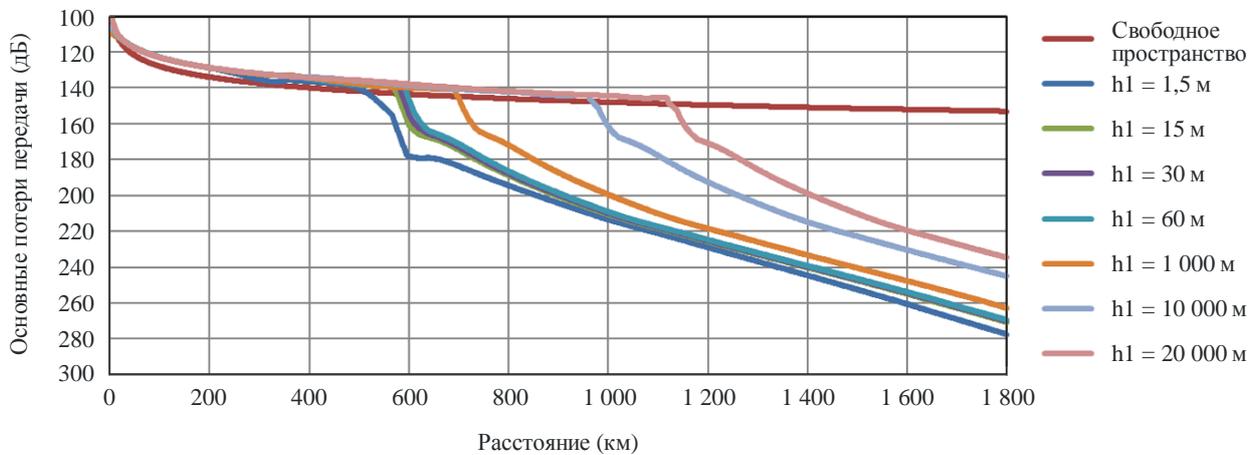
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 600 МГц для 5% времени для значений h_1



а) $h_2 = 1000$ м



б) $h_2 = 10000$ м



в) $h_2 = 20000$ м

РИСУНОК 3-3

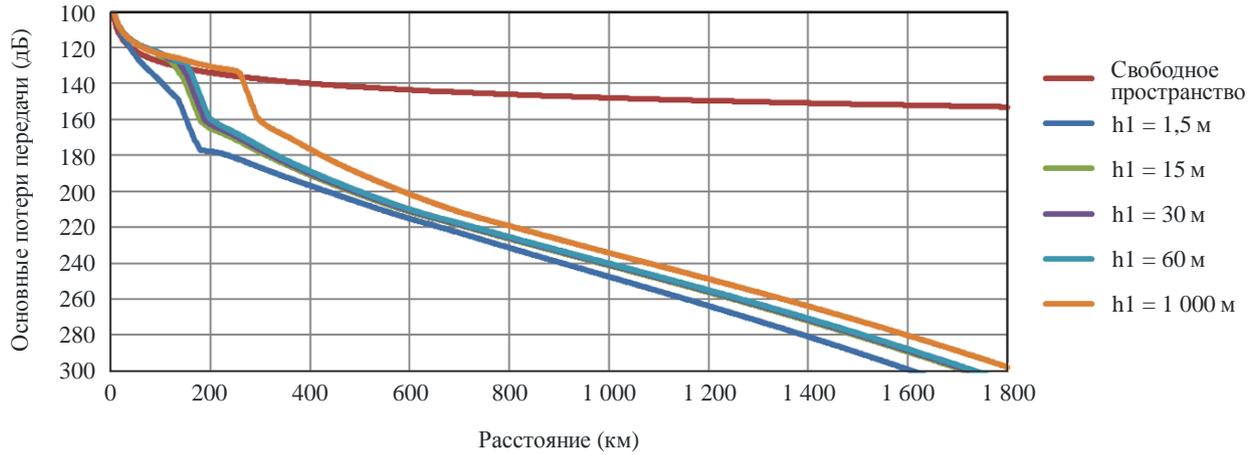
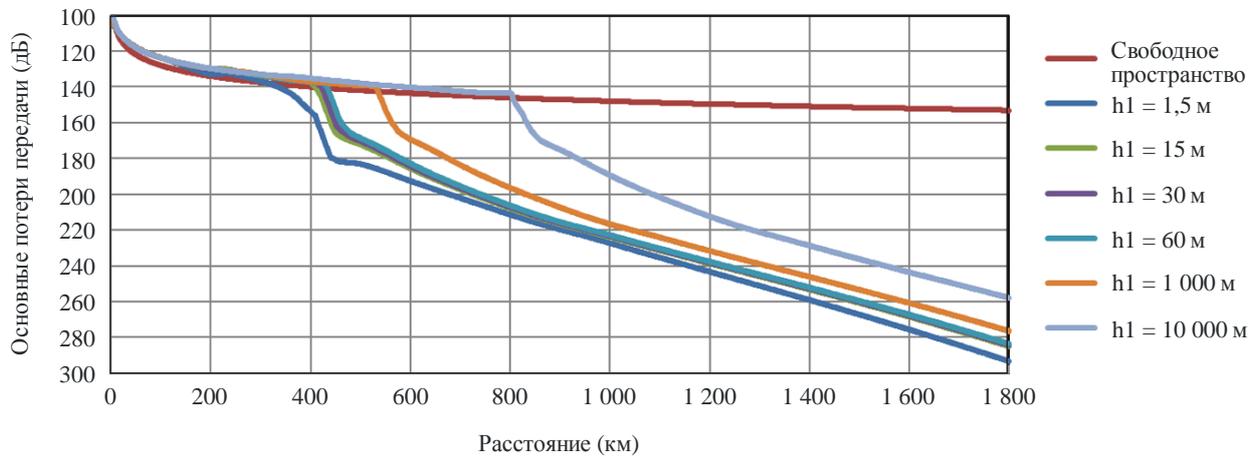
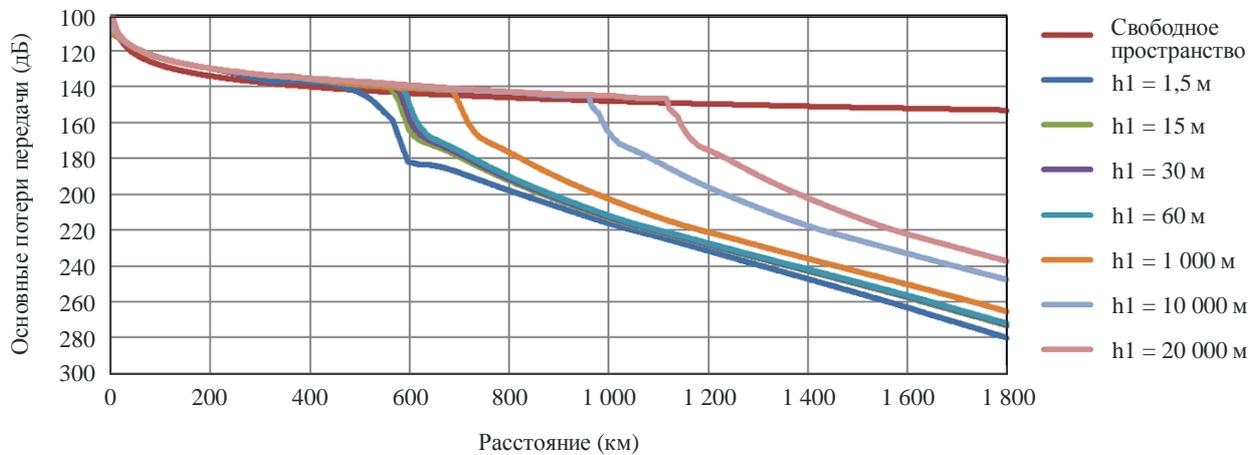
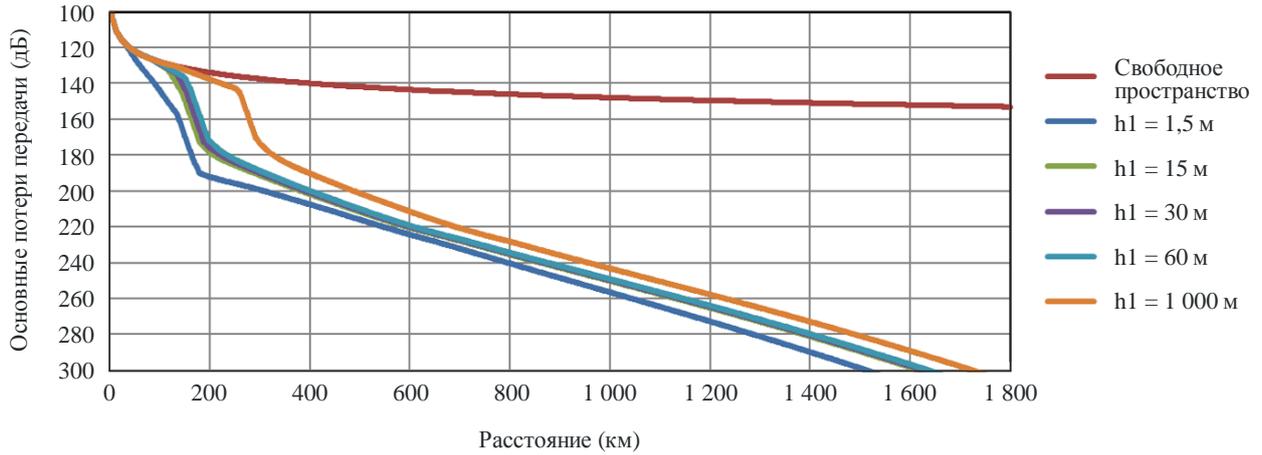
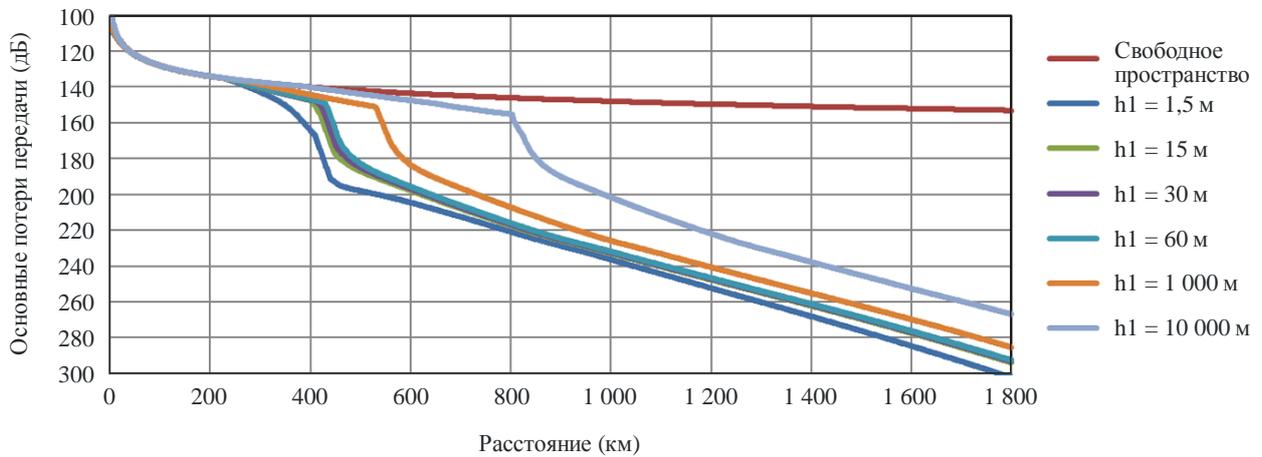
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 600 МГц для 10% времени для значений h_1 а) $h_2 = 1\,000$ мб) $h_2 = 10\,000$ мв) $h_2 = 20\,000$ м

РИСУНОК 3-4

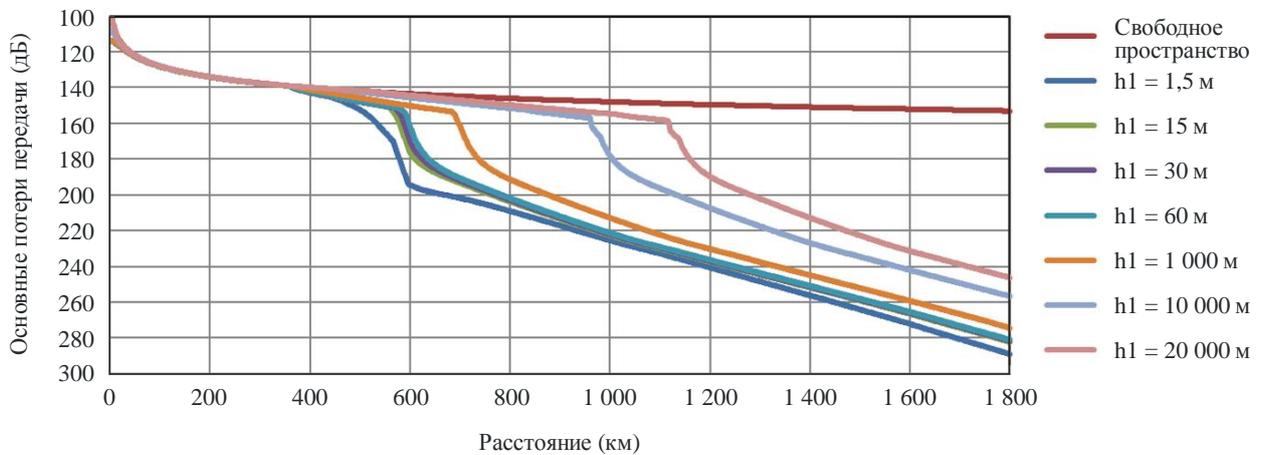
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 600 МГц для 50% времени для значений h_1



а) $h_2 = 1\ 000$ м



б) $h_2 = 10\ 000$ м



в) $h_2 = 20\ 000$ м

РИСУНОК 3-5

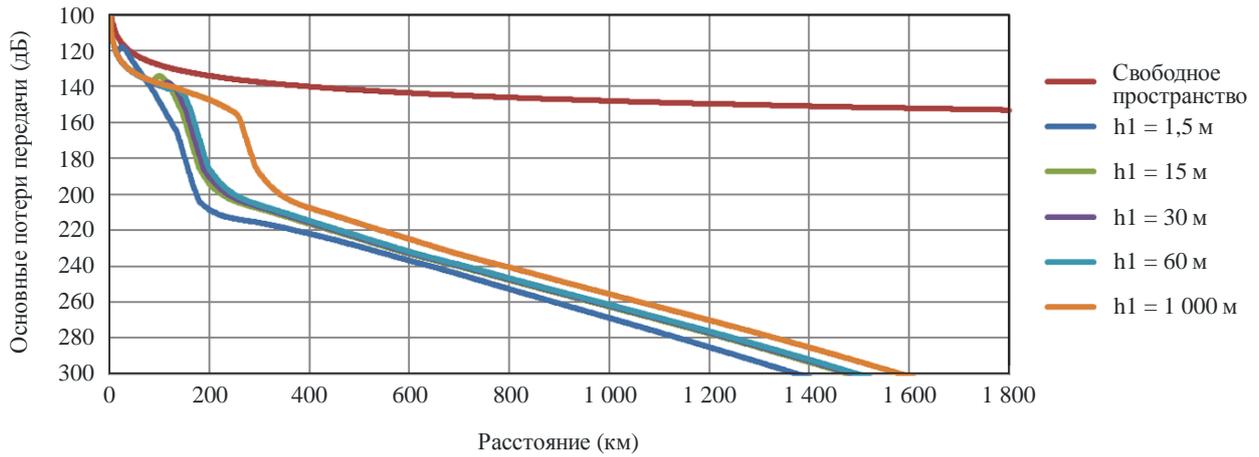
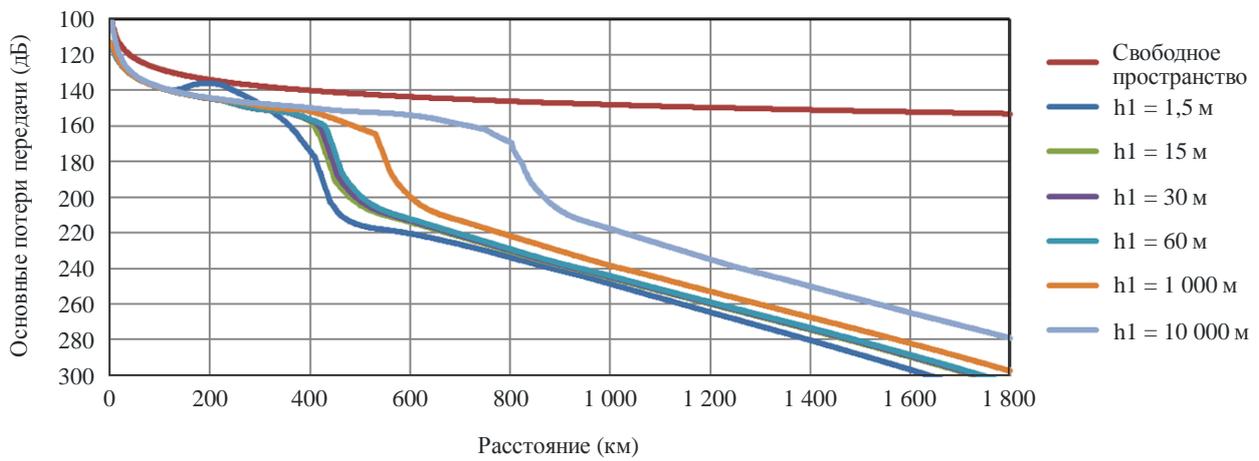
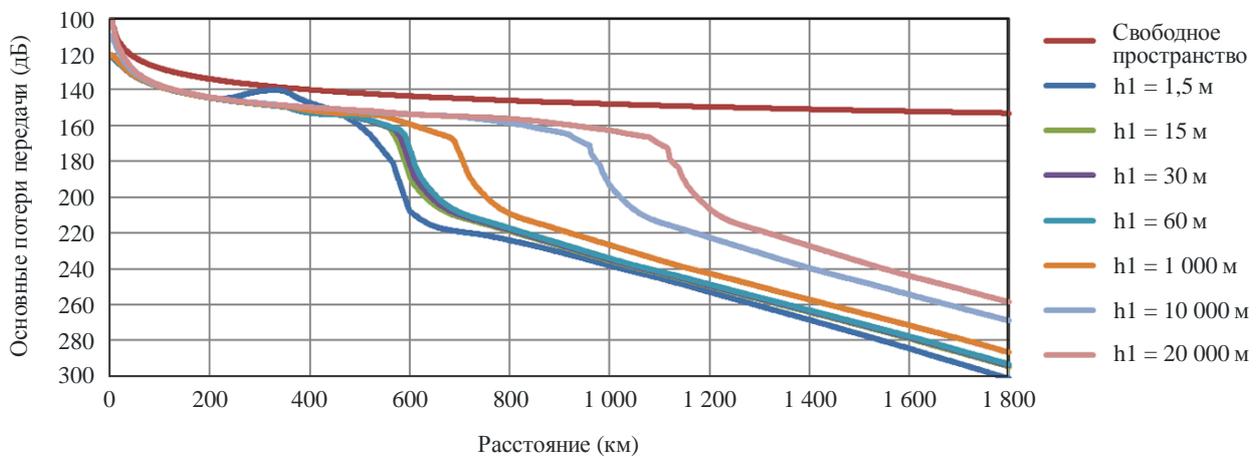
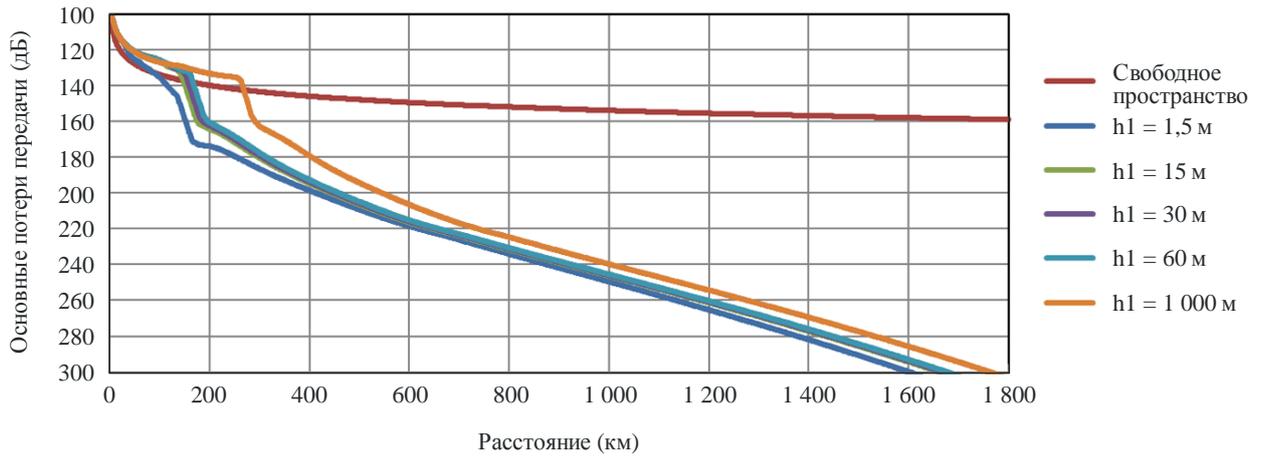
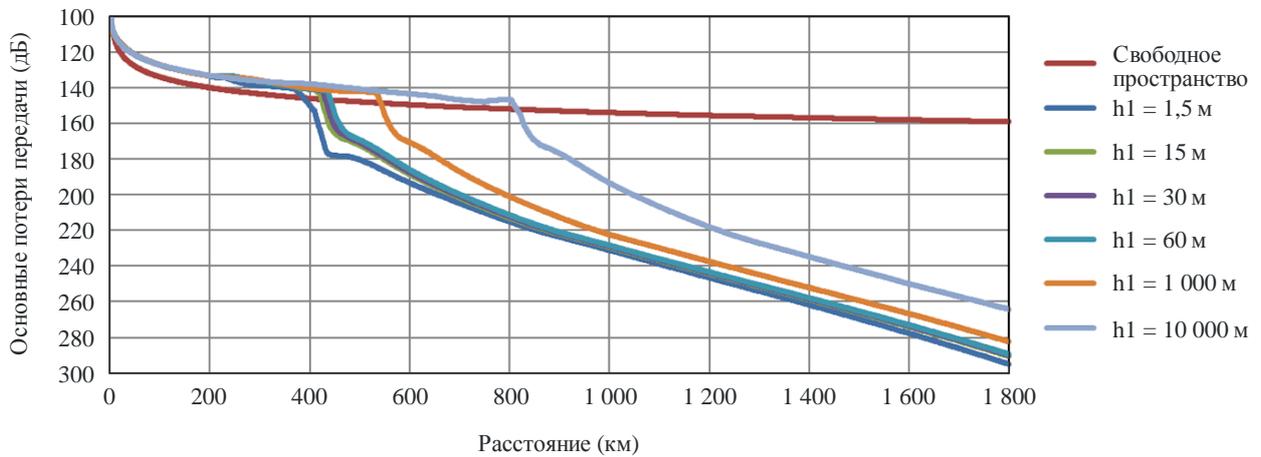
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 600 МГц для 95% времени для значений h_1 а) $h_2 = 1\ 000$ мб) $h_2 = 10\ 000$ мв) $h_2 = 20\ 000$ м

РИСУНОК 4-1

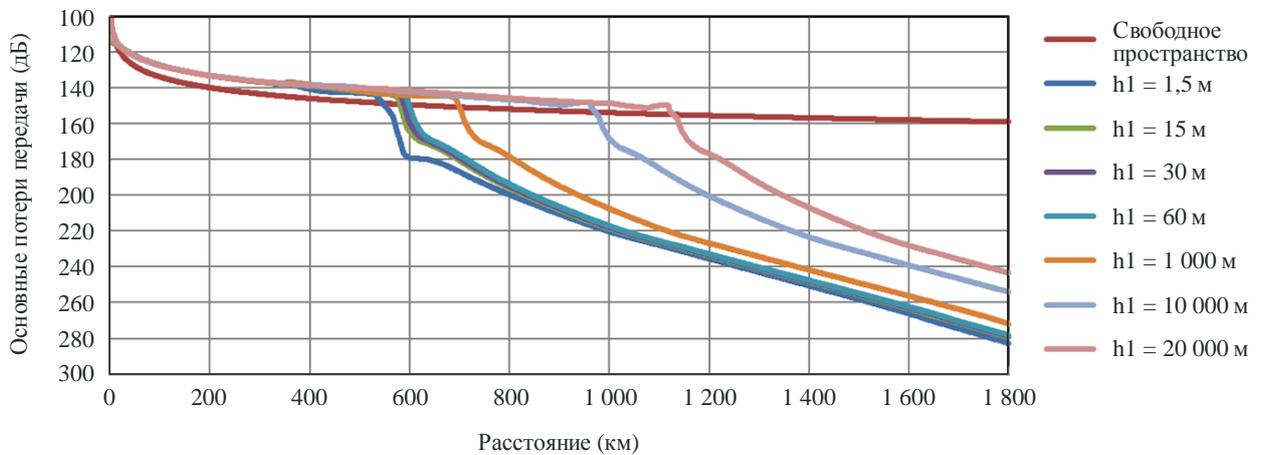
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 1200 МГц для 1% времени для значений h_1



а) $h_2 = 1\,000$ м



б) $h_2 = 10\,000$ м



в) $h_2 = 20\,000$ м

РИСУНОК 4-2

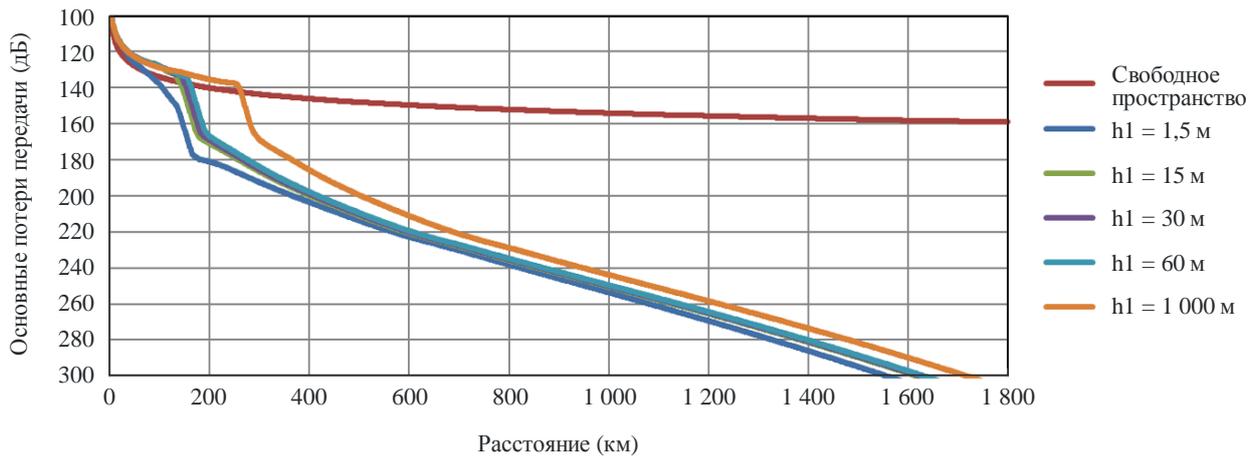
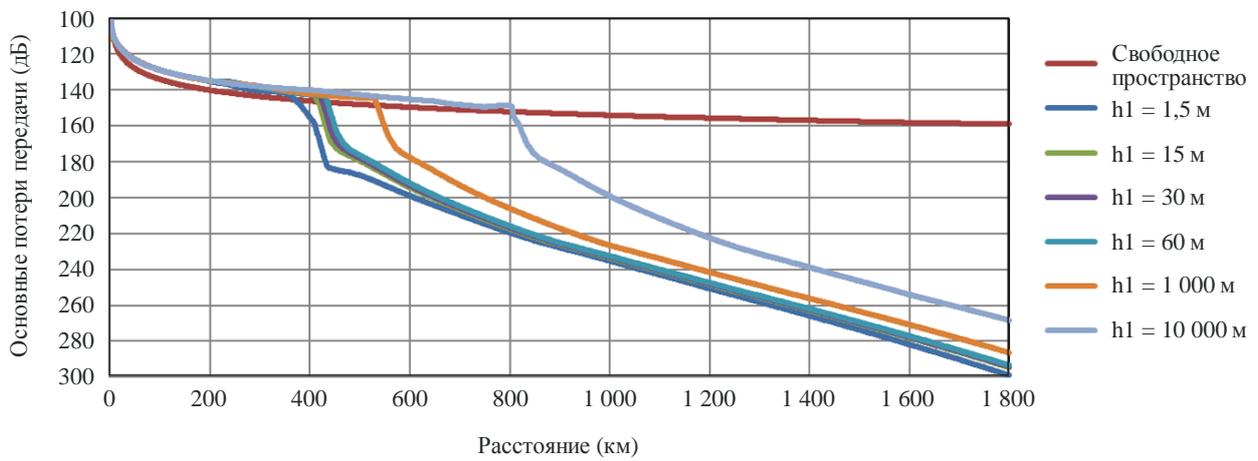
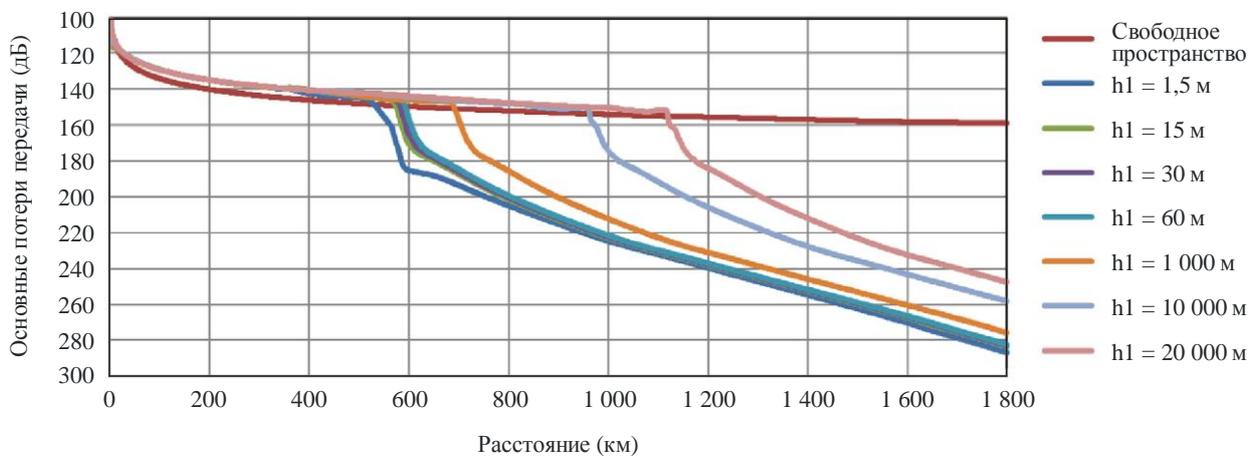
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 1200 МГц для 5% времени для значений h_1 а) $h_2 = 1\,000$ мб) $h_2 = 10\,000$ мв) $h_2 = 20\,000$ м

РИСУНОК 4-3

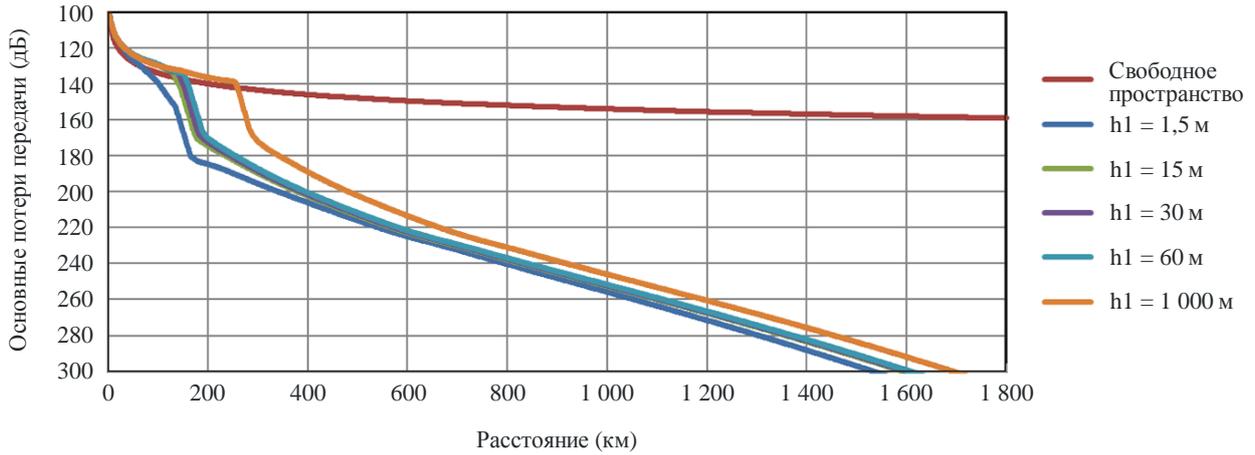
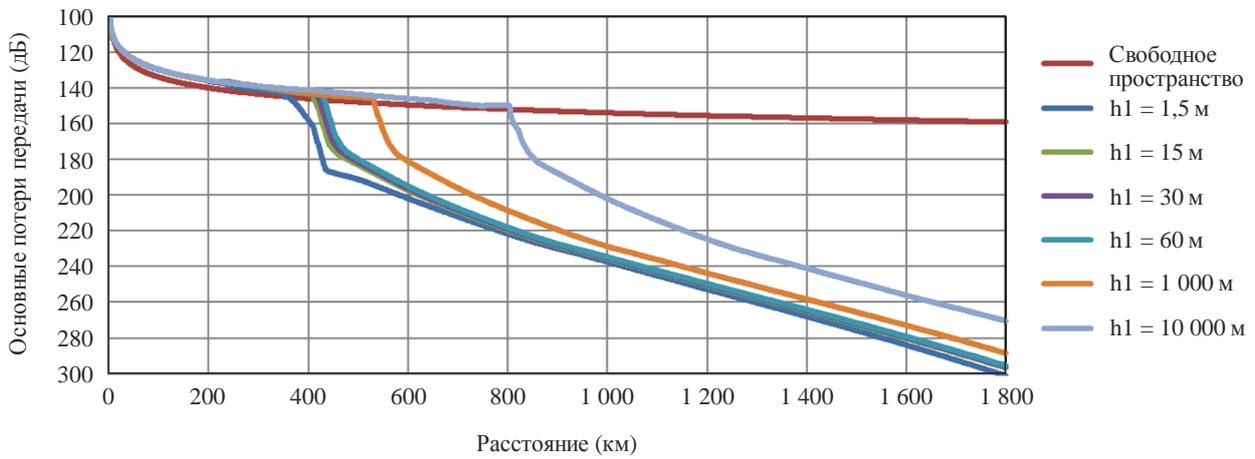
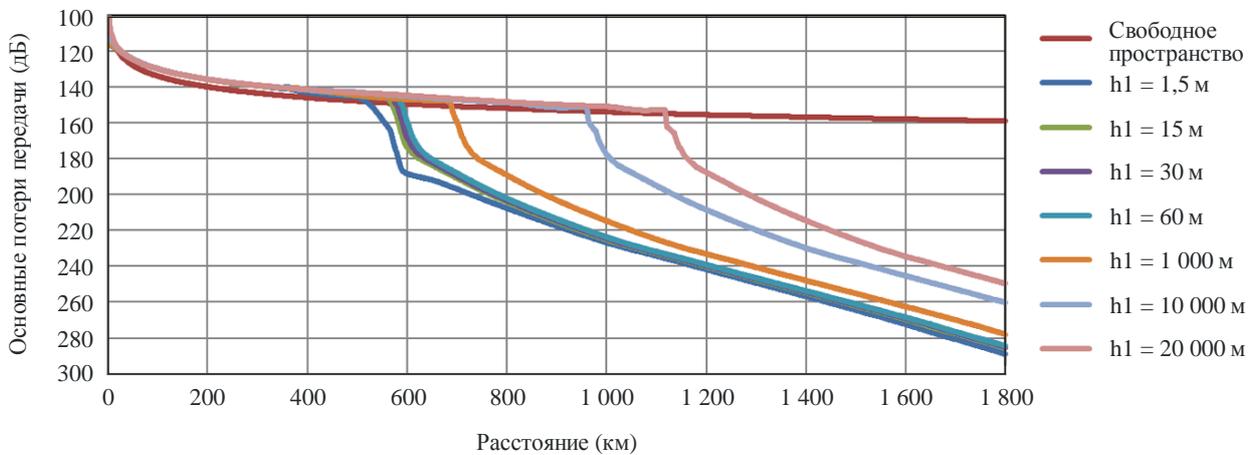
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 1200 МГц для 10% времени для значений h_1 а) $h_2 = 1\,000$ мб) $h_2 = 10\,000$ мв) $h_2 = 20\,000$ м

РИСУНОК 4-4

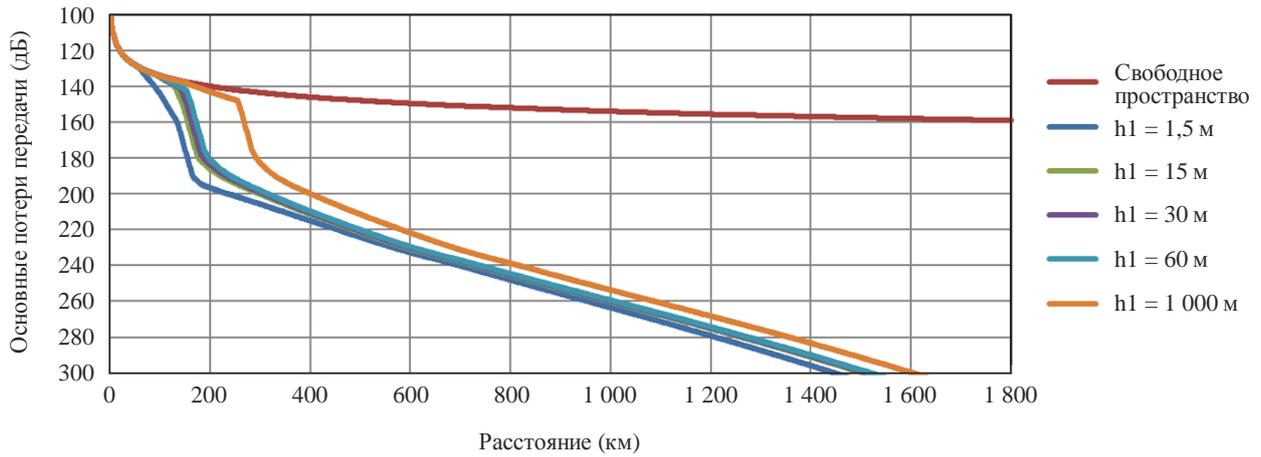
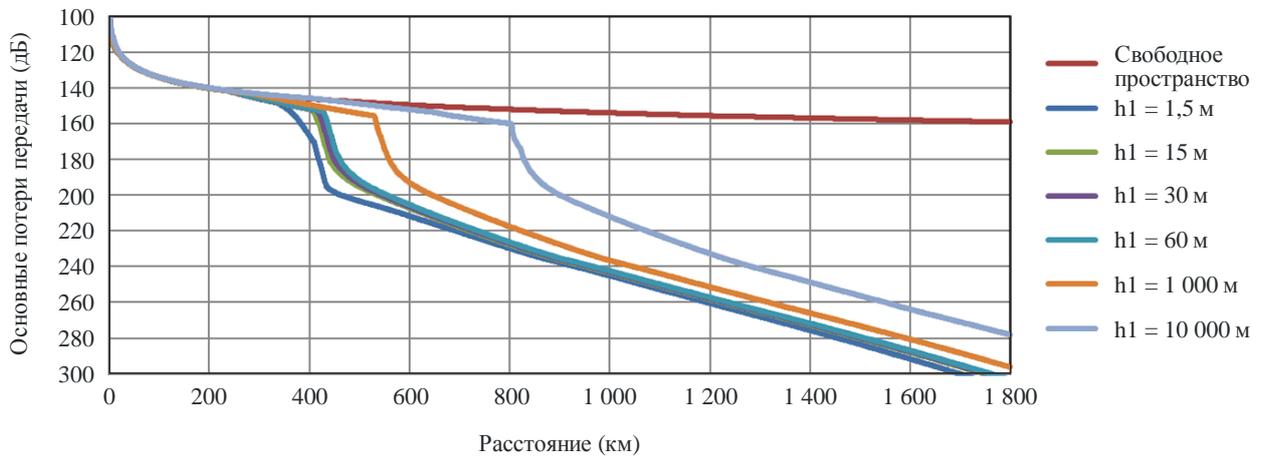
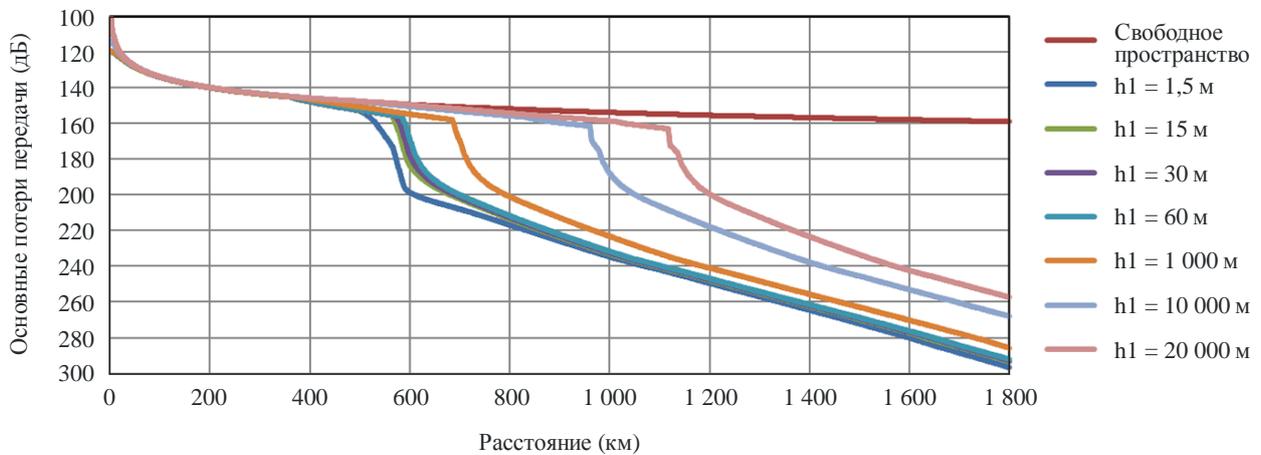
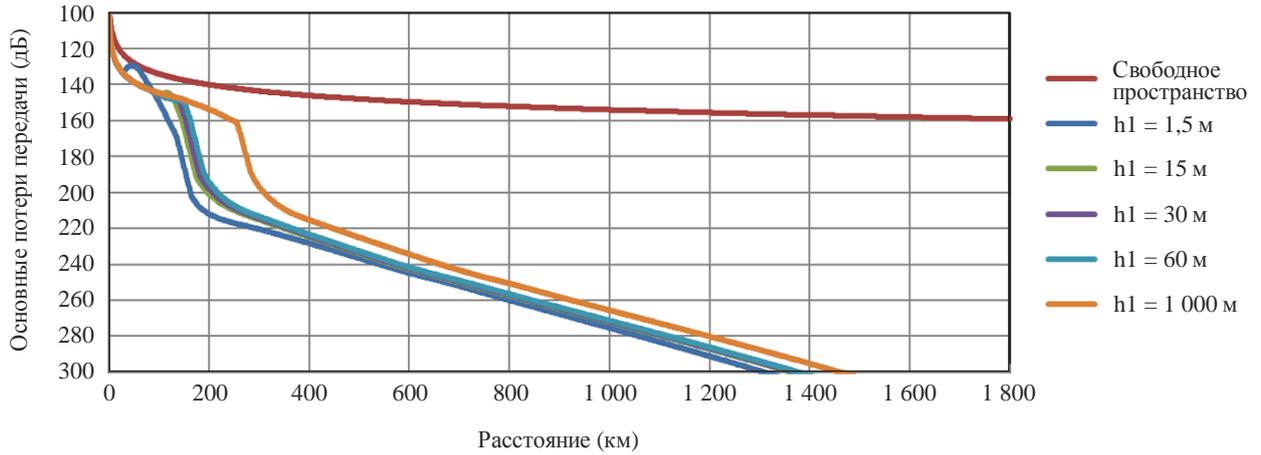
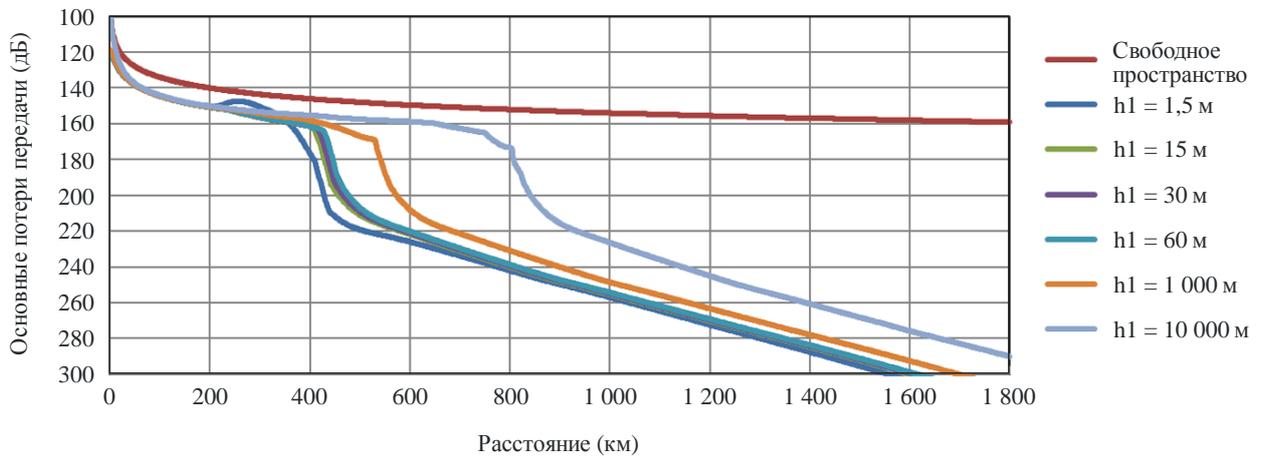
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 1200 МГц для 50% времени для значений h_1 а) $h_2 = 1\,000$ мб) $h_2 = 10\,000$ мв) $h_2 = 20\,000$ м

РИСУНОК 4-5

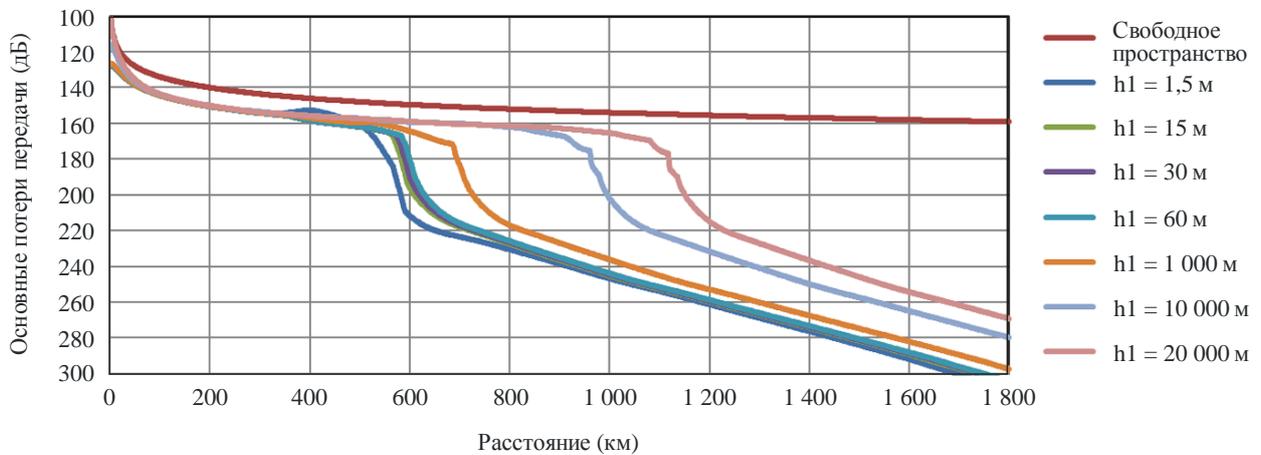
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 1200 МГц для 95% времени для значений h_1



а) $h_2 = 1\ 000$ м



б) $h_2 = 10\ 000$ м



в) $h_2 = 20\ 000$ м

РИСУНОК 5-1

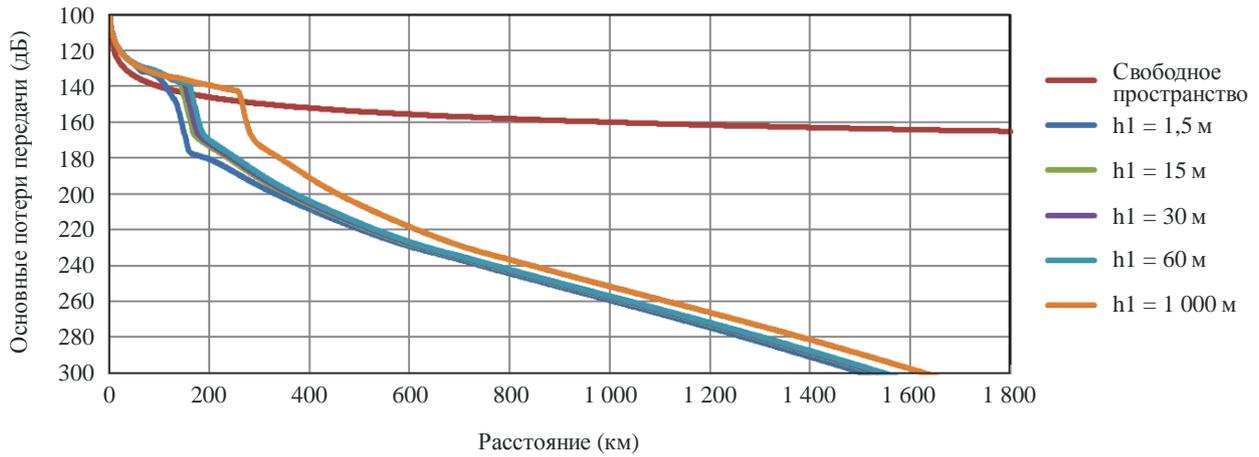
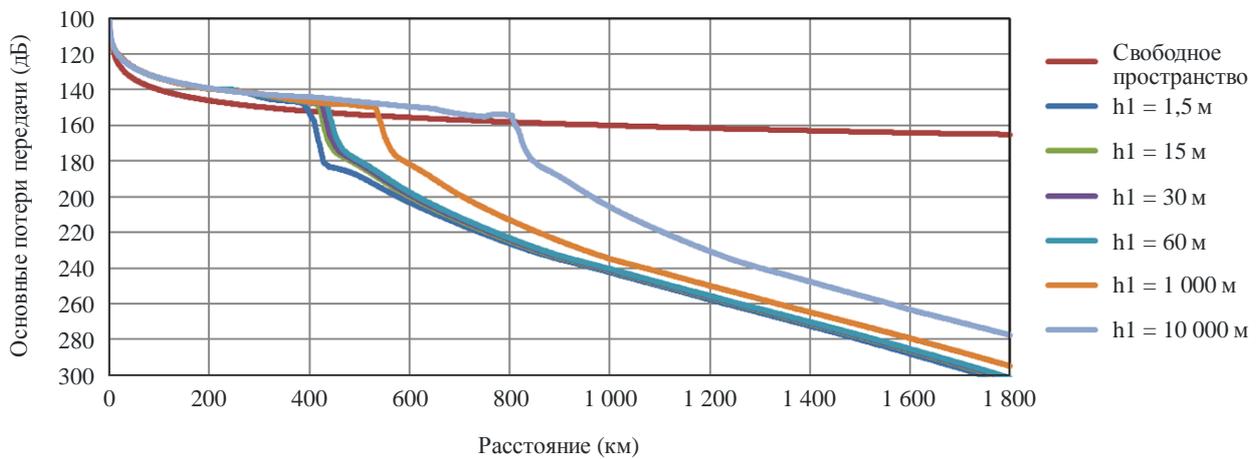
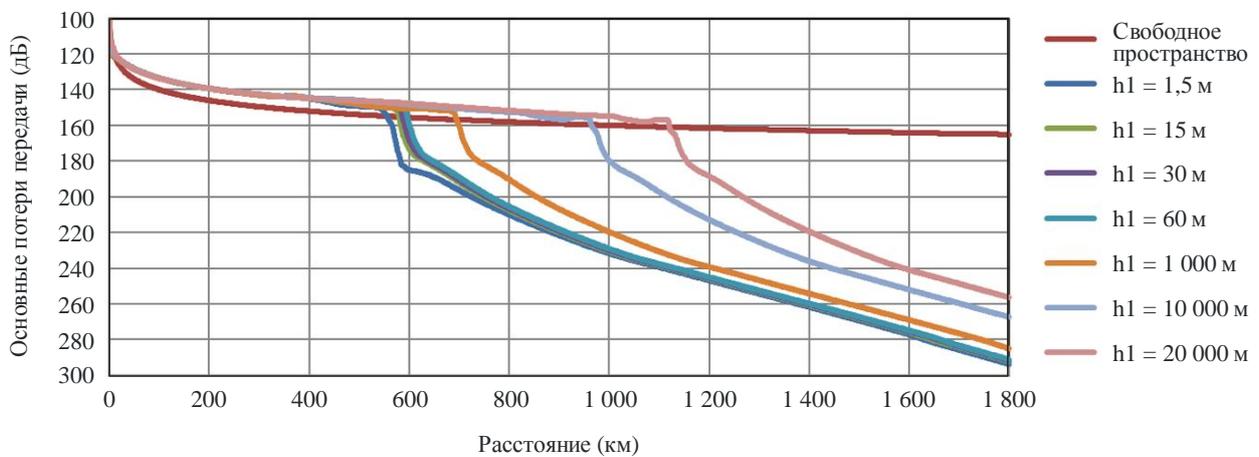
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 2400 МГц для 1% времени для значений h_1 а) $h_2 = 1\,000$ мб) $h_2 = 10\,000$ мв) $h_2 = 20\,000$ м

РИСУНОК 5-2

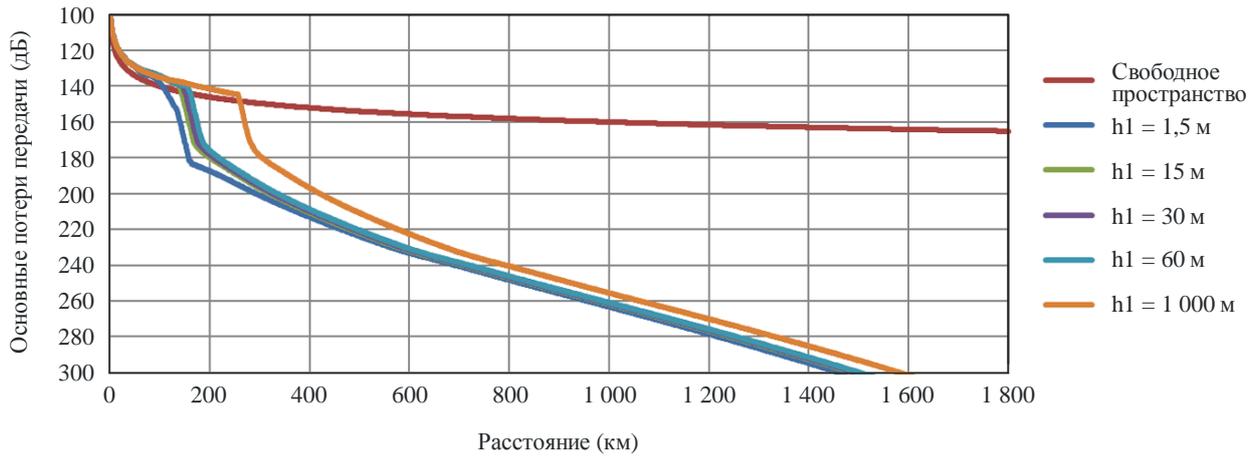
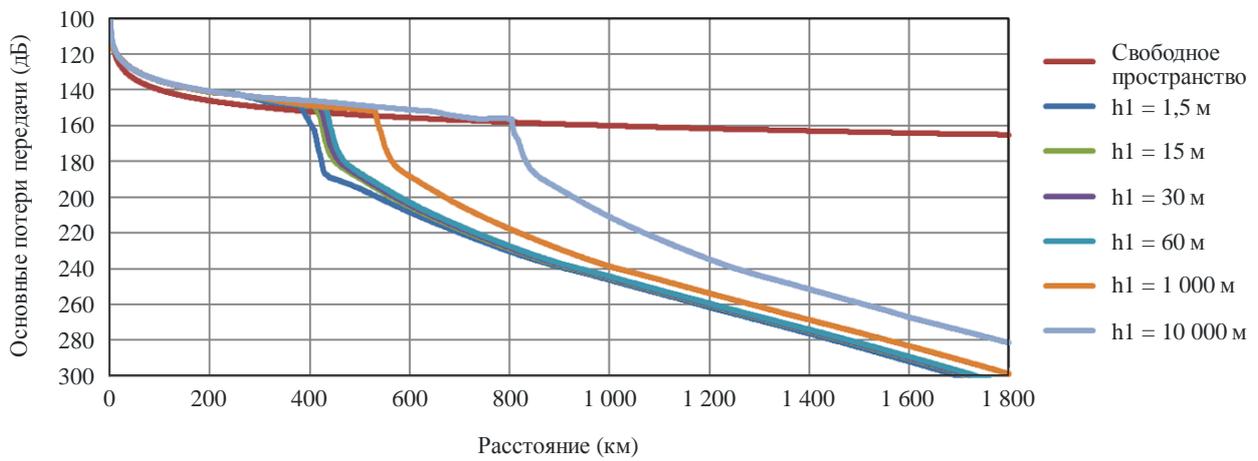
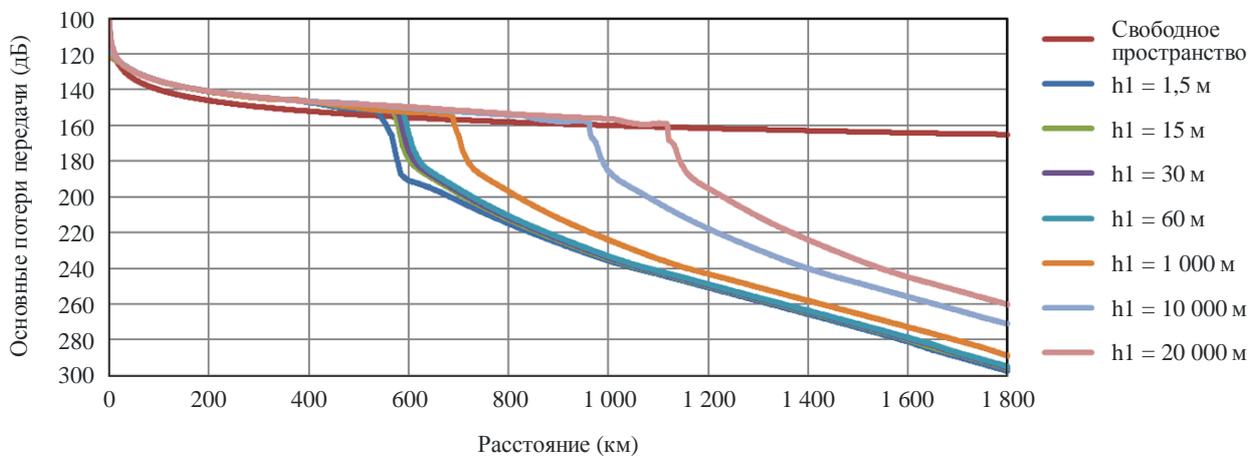
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 2400 МГц для 5% времени для значений h_1 а) $h_2 = 1\,000$ мб) $h_2 = 10\,000$ мв) $h_2 = 20\,000$ м

РИСУНОК 5-3

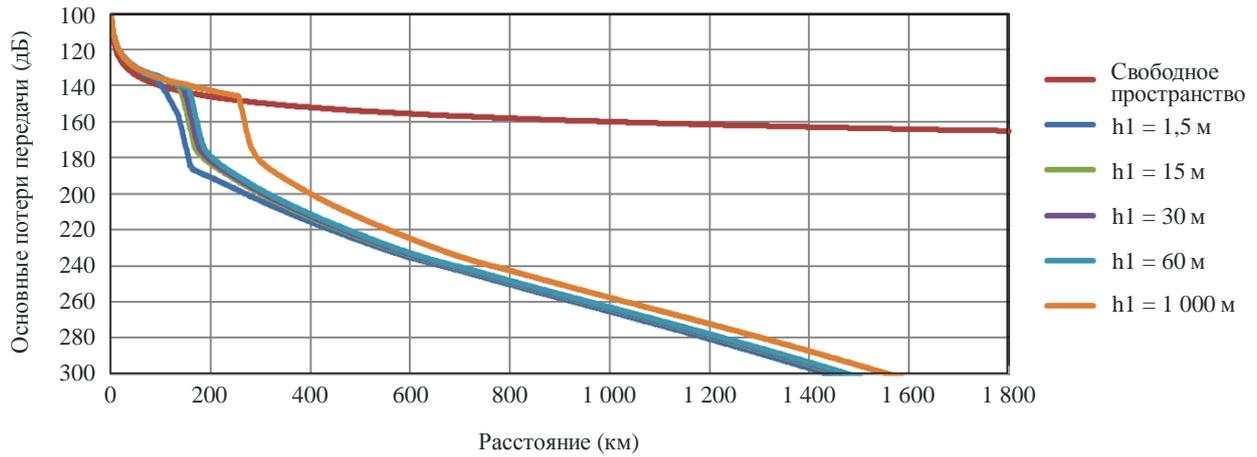
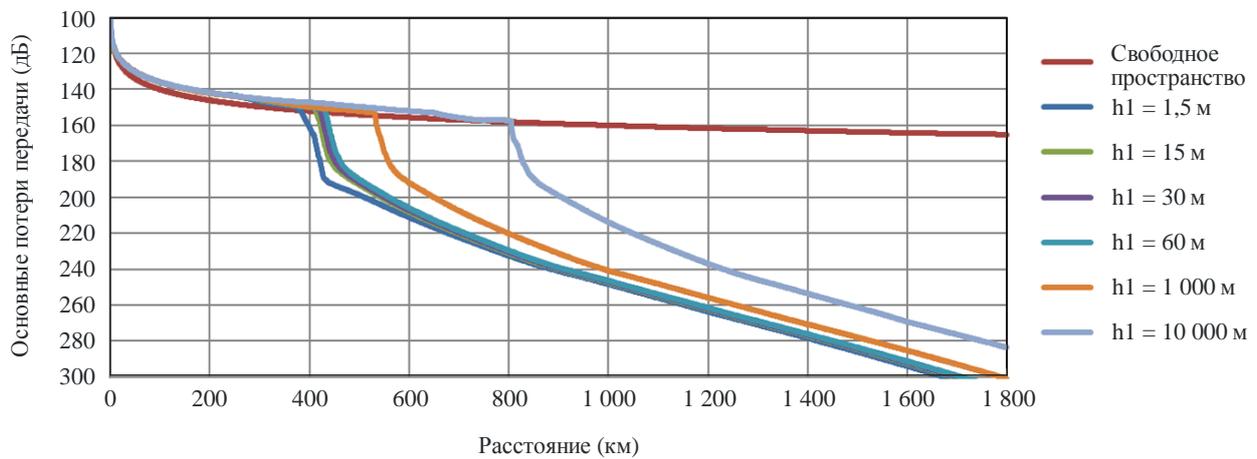
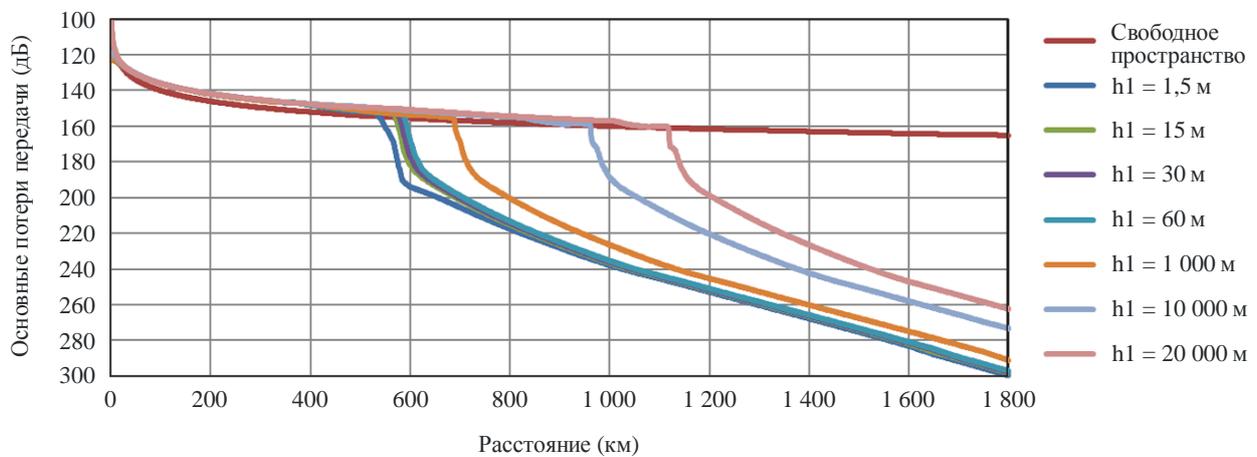
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 2400 МГц для 10% времени для значений h_1 а) $h_2 = 1\,000$ мб) $h_2 = 10\,000$ мв) $h_2 = 20\,000$ м

РИСУНОК 5-4

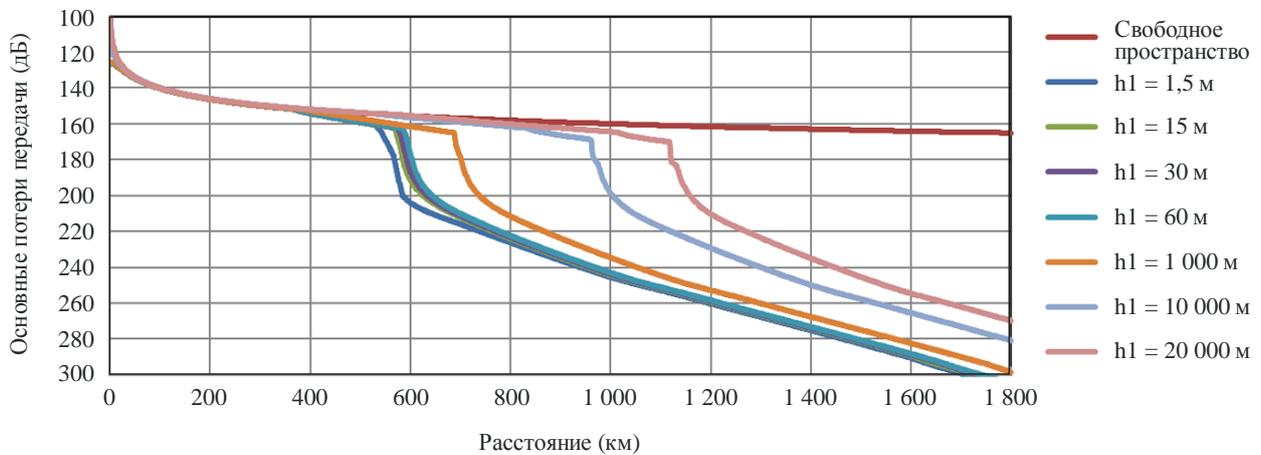
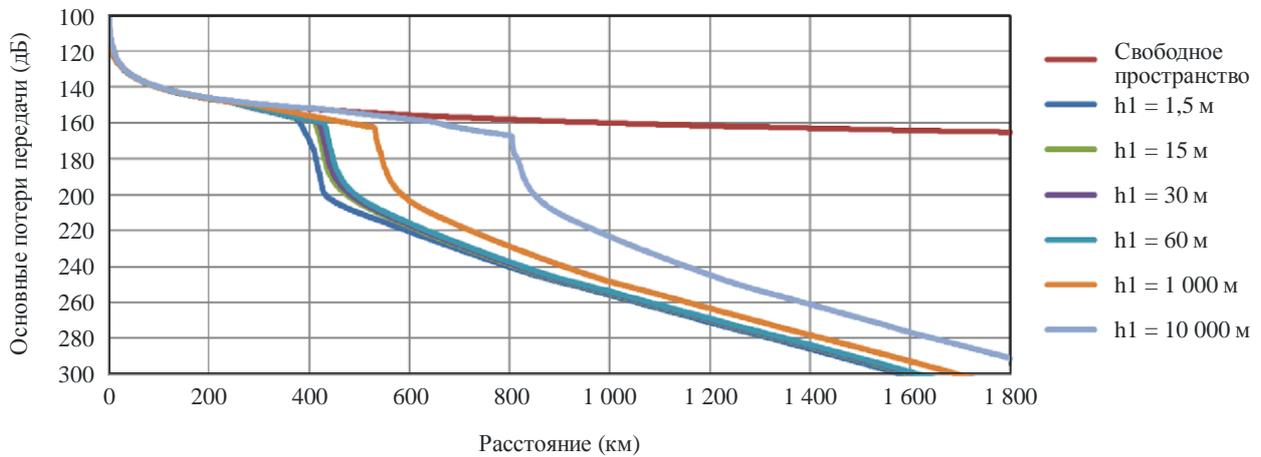
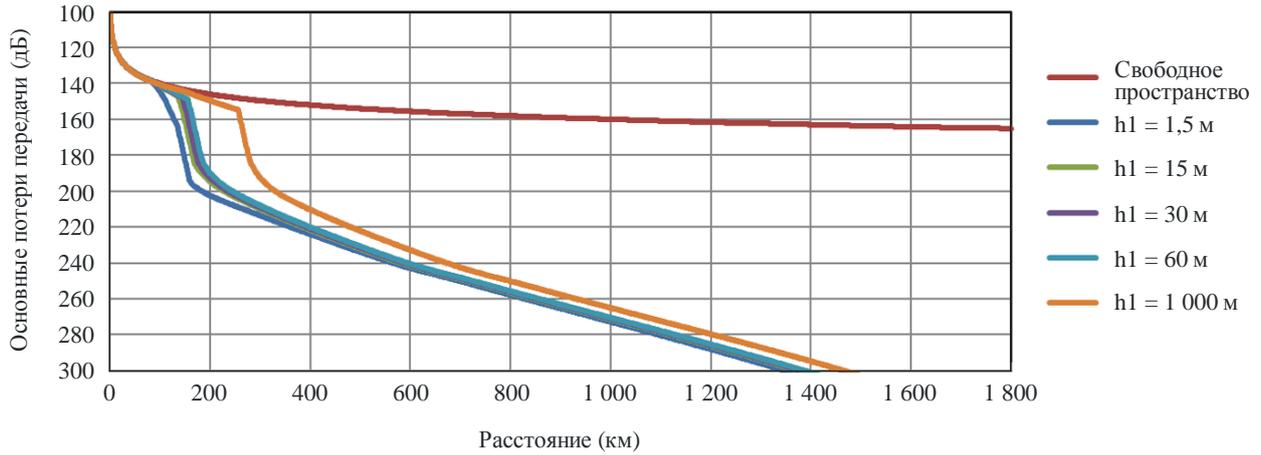
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 2400 МГц для 50% времени для значений h_1 

РИСУНОК 5-5

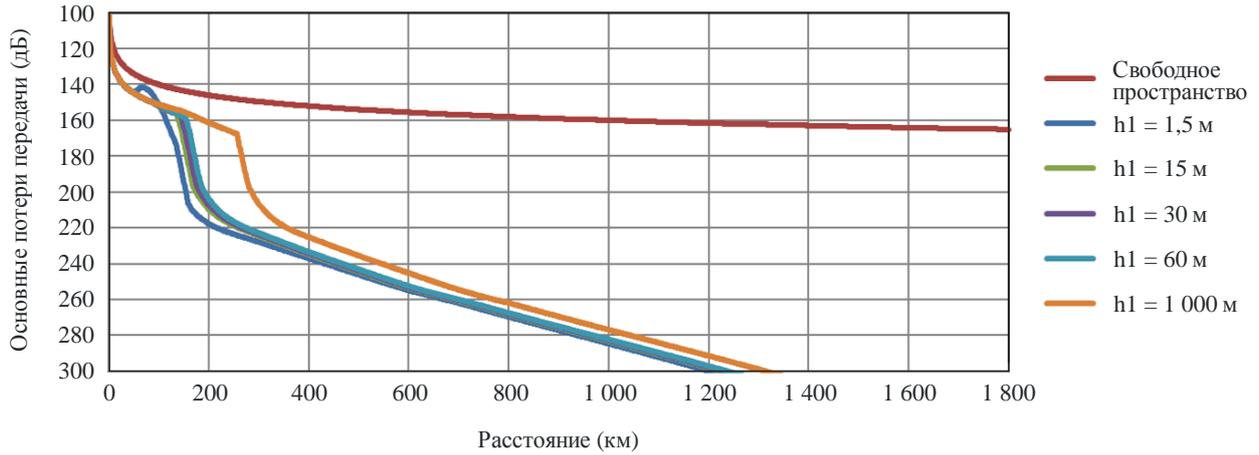
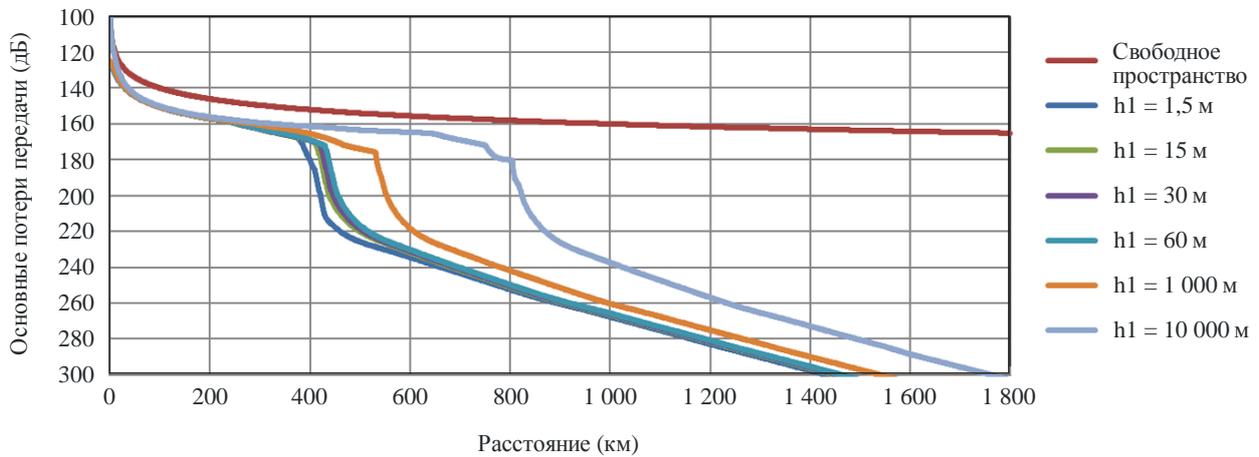
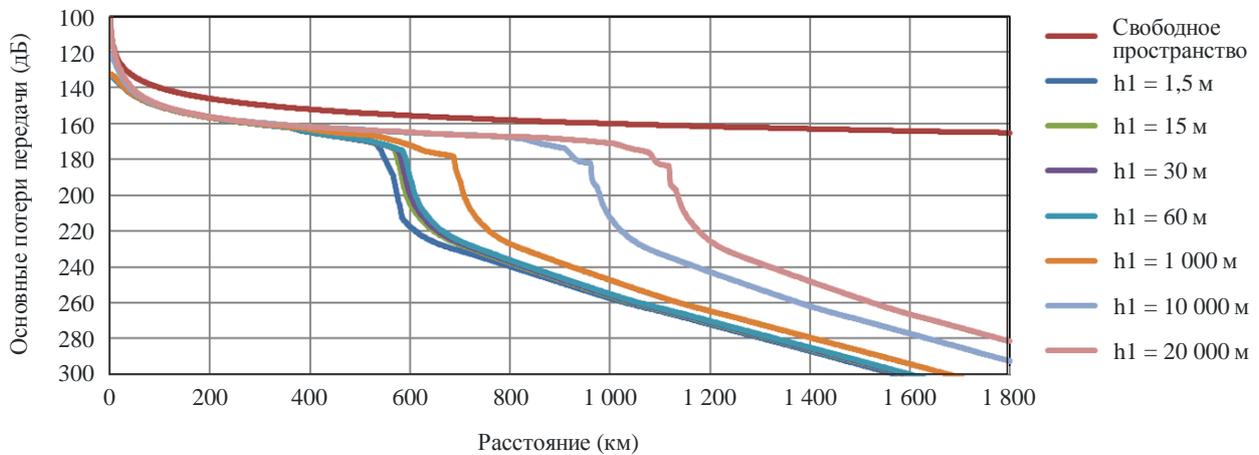
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 2400 МГц для 95% времени для значений h_1 а) $h_2 = 1\,000$ мб) $h_2 = 10\,000$ мв) $h_2 = 20\,000$ м

РИСУНОК 6-1

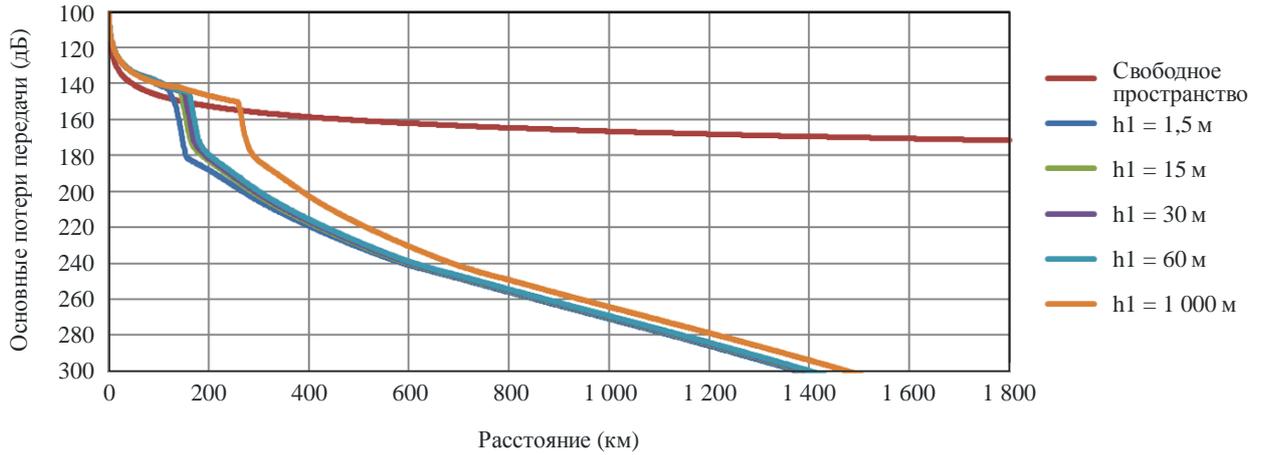
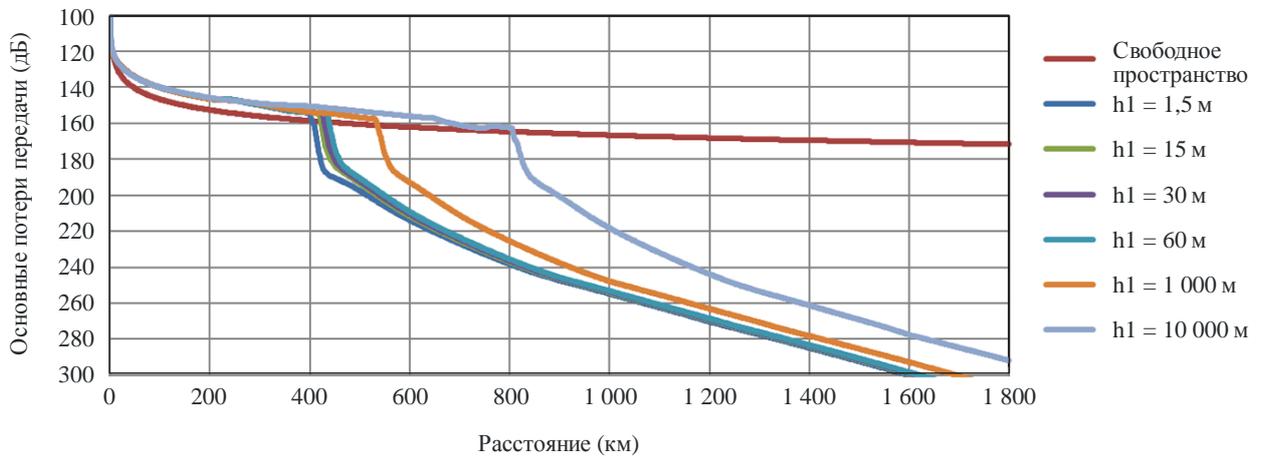
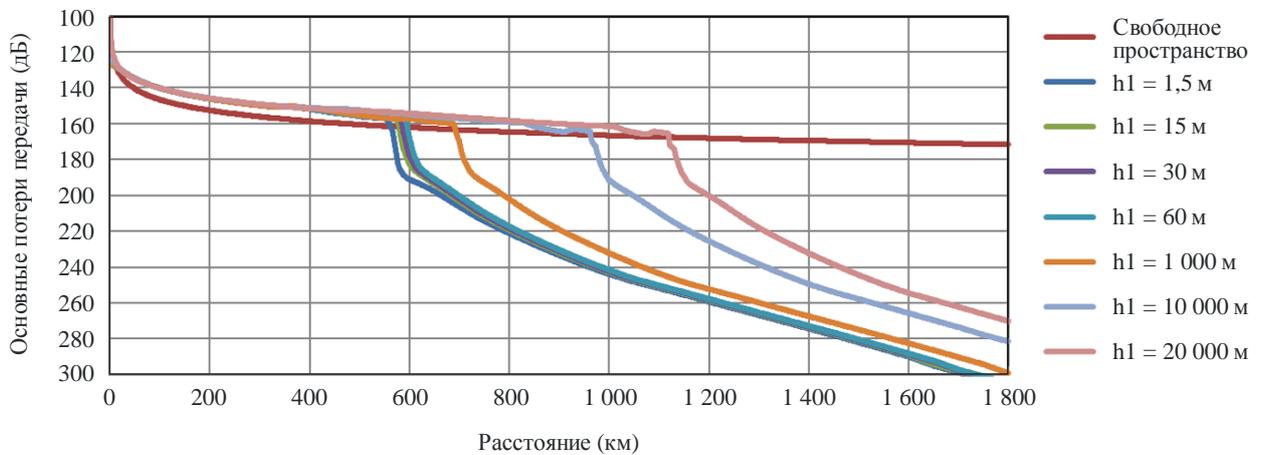
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 5100 МГц для 1% времени для значений h_1 а) $h_2 = 1\,000$ мб) $h_2 = 10\,000$ мв) $h_2 = 20\,000$ м

РИСУНОК 6-2

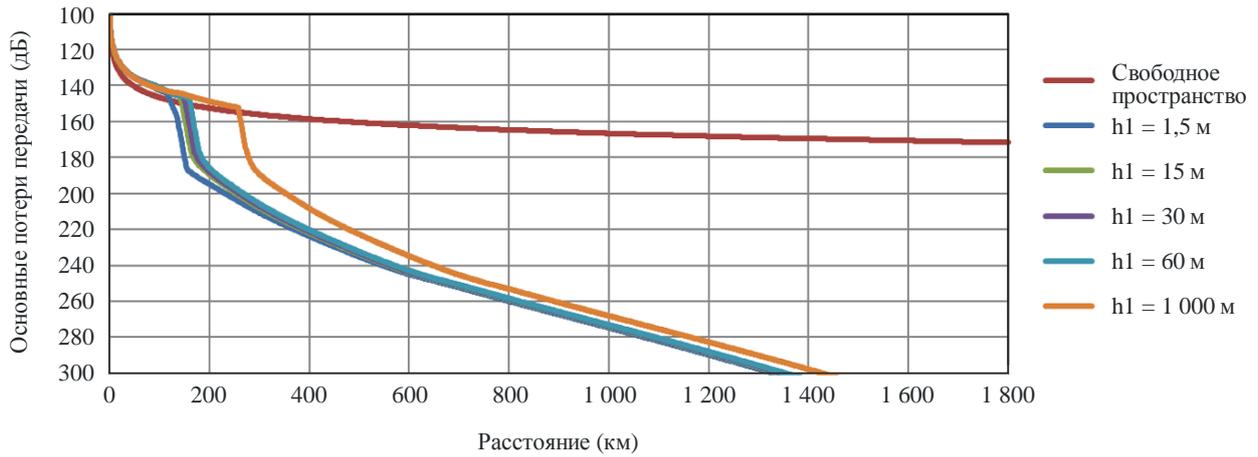
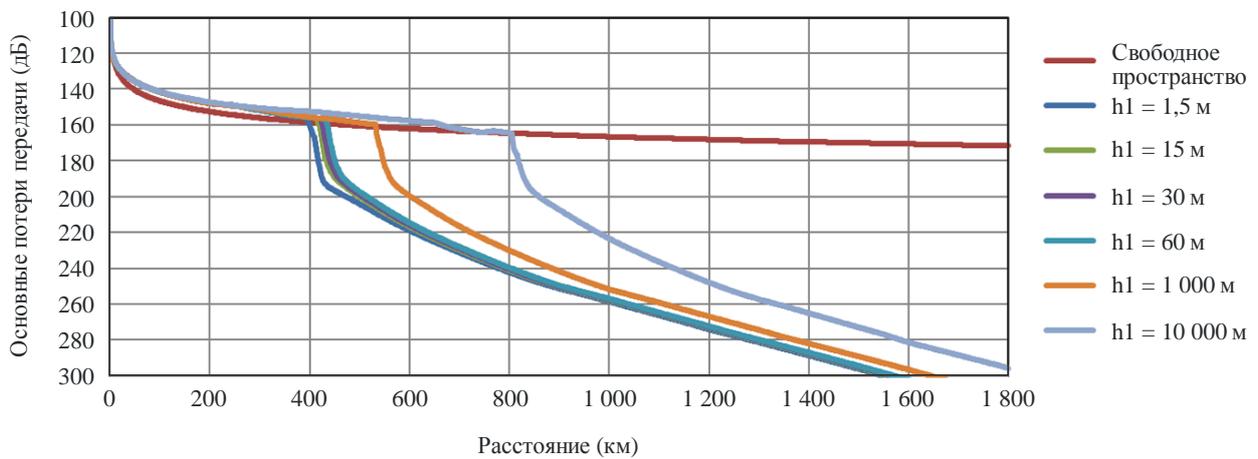
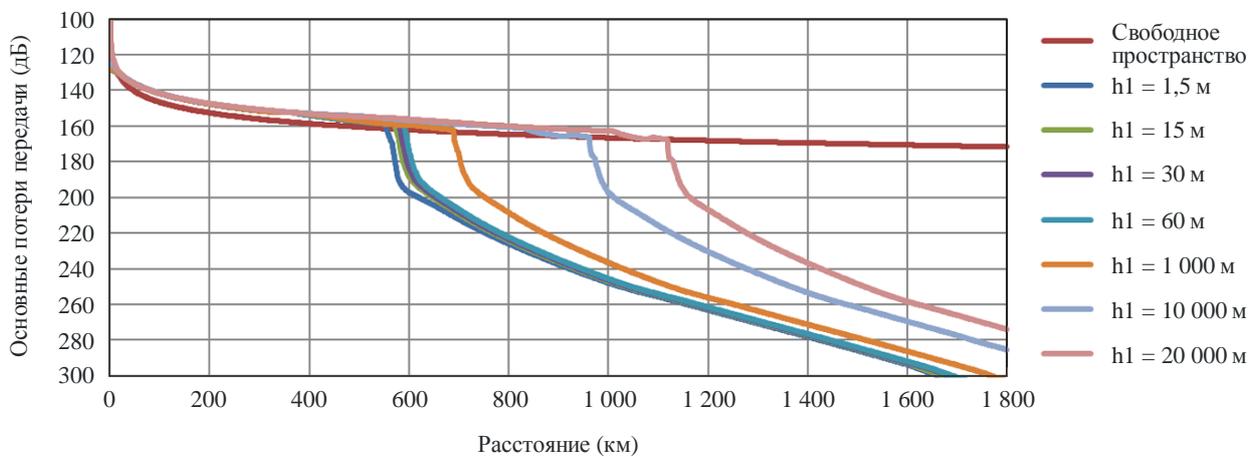
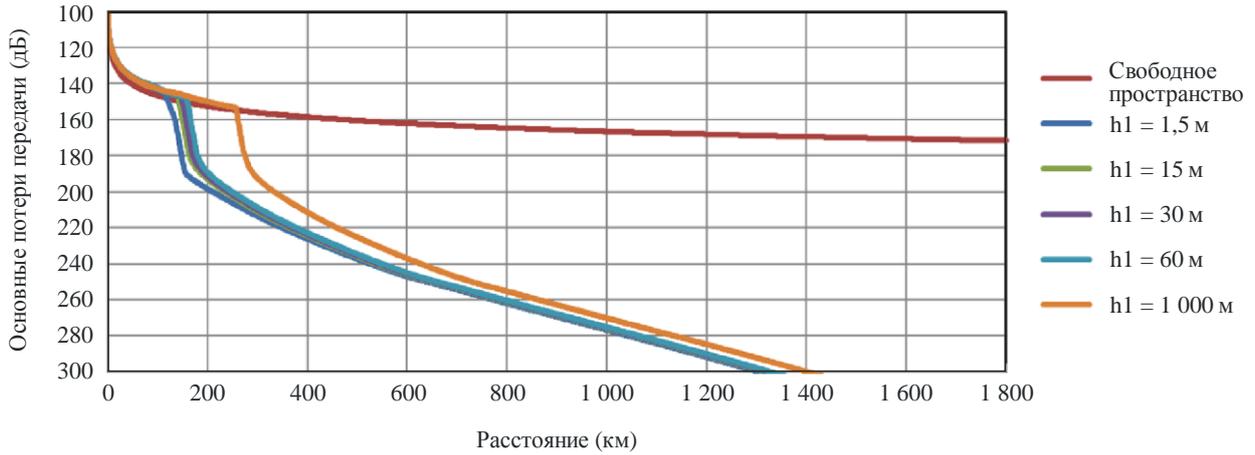
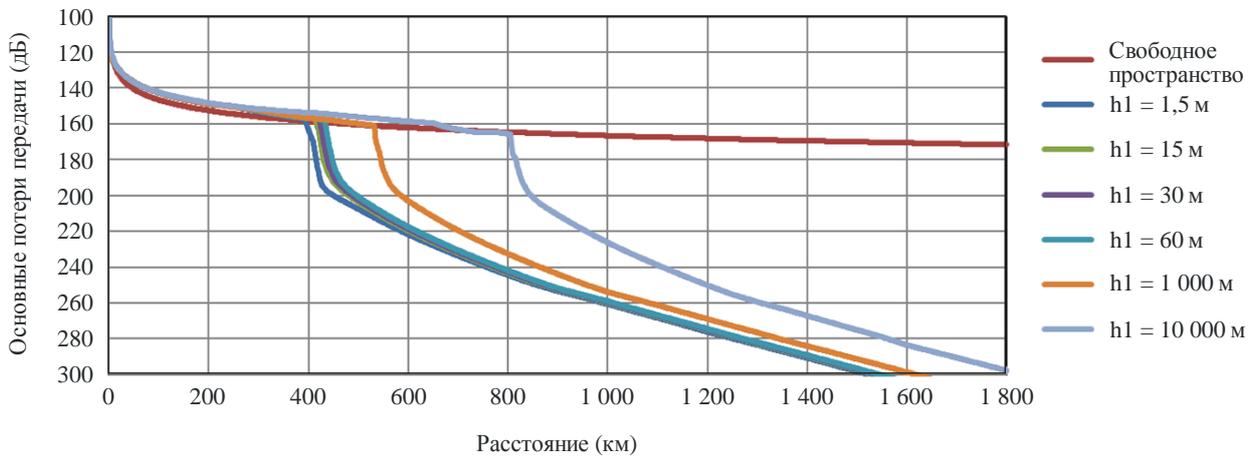
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 5100 МГц для 5% времени для значений h_1 а) $h_2 = 1\,000$ мб) $h_2 = 10\,000$ мв) $h_2 = 20\,000$ м

РИСУНОК 6-3

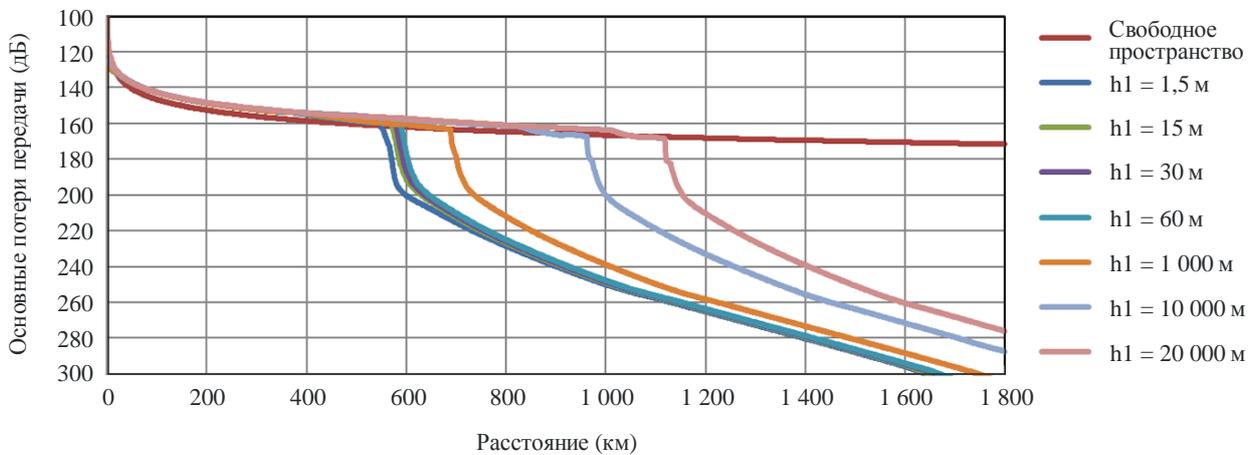
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 5100 МГц для 10% времени для значений h_1



а) $h_2 = 1000$ м



б) $h_2 = 10000$ м



в) $h_2 = 20000$ м

РИСУНОК 6-4

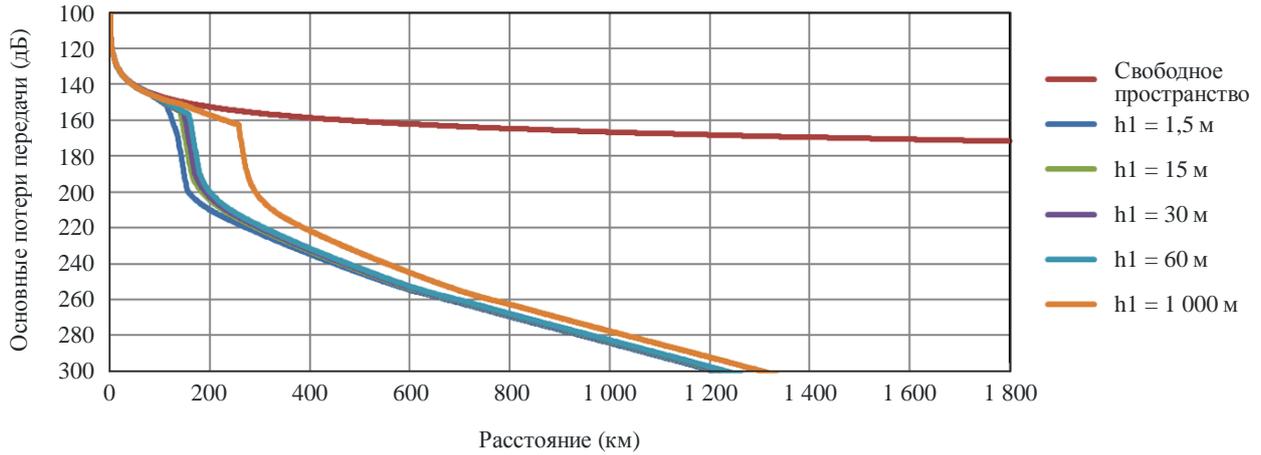
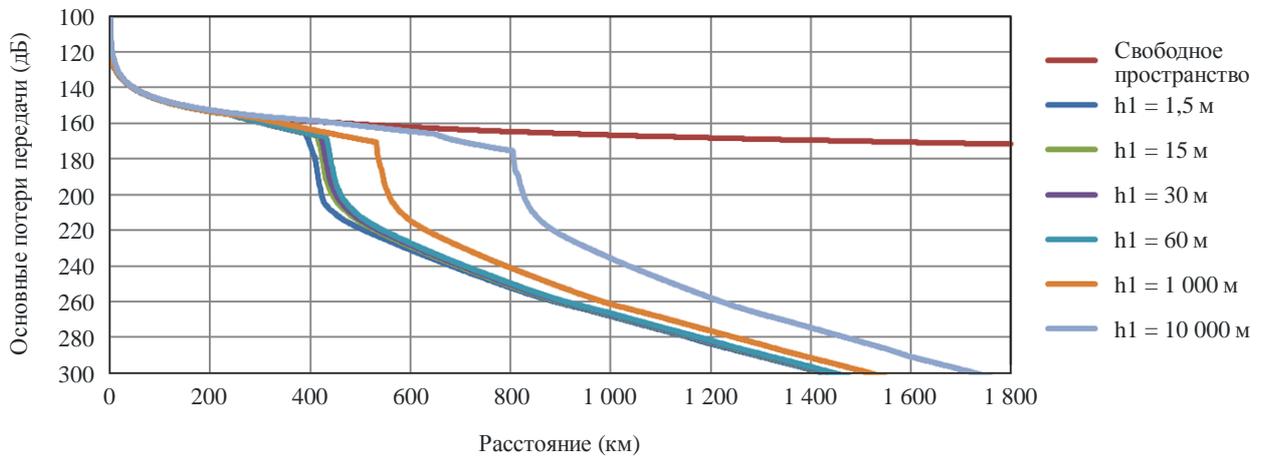
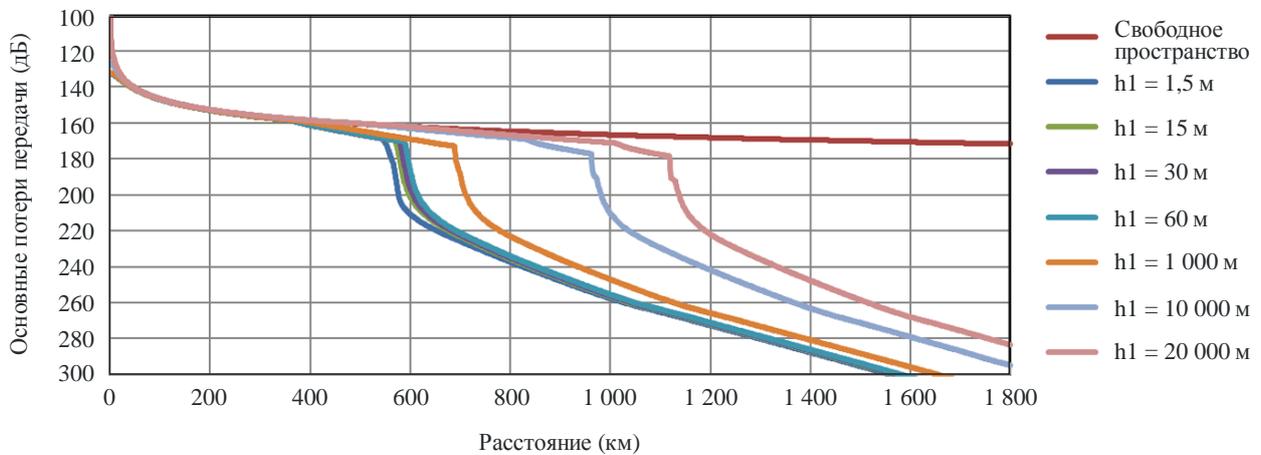
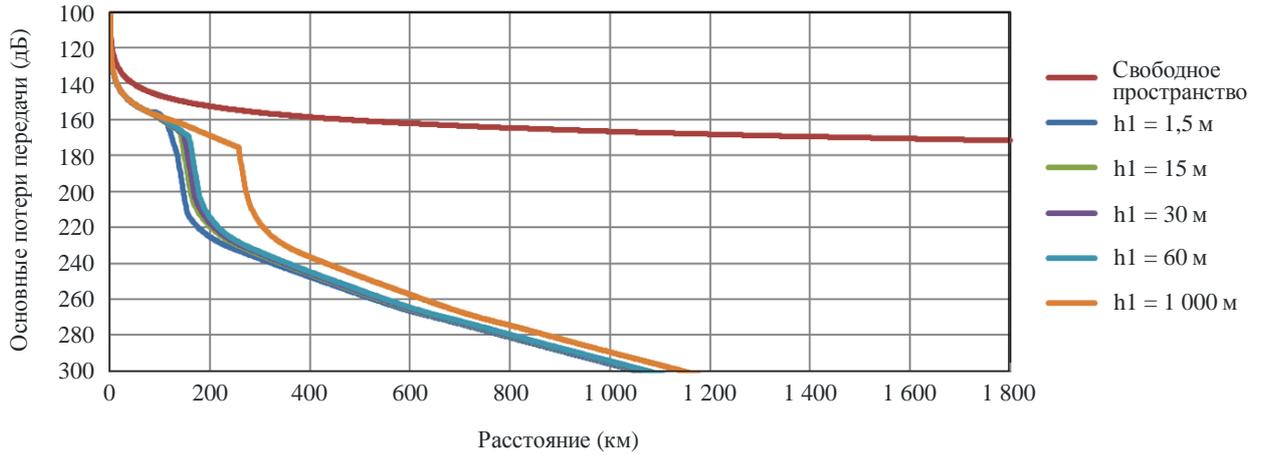
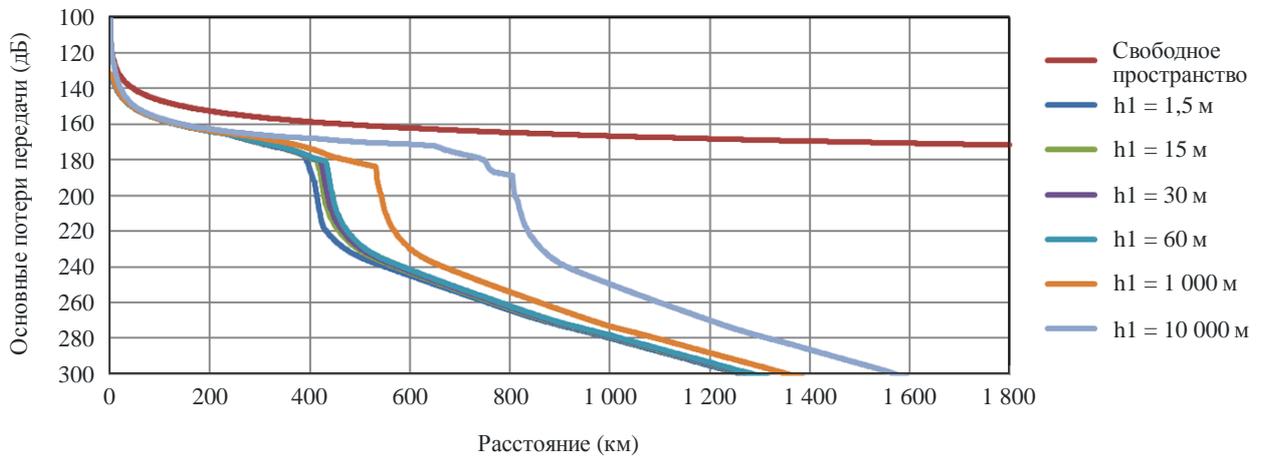
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 5100 МГц для 50% времени для значений h_1 а) $h_2 = 1\,000$ мб) $h_2 = 10\,000$ мв) $h_2 = 20\,000$ м

РИСУНОК 6-5

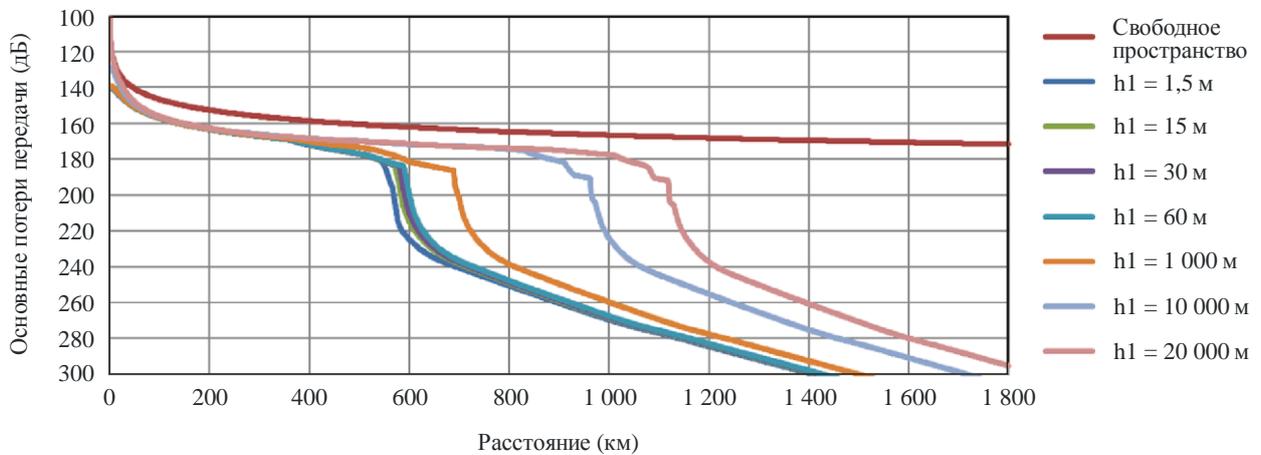
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 5100 МГц для 95% времени для значений h_1



а) $h_2 = 1\ 000$ м



б) $h_2 = 10\ 000$ м



в) $h_2 = 20\ 000$ м

РИСУНОК 7-1

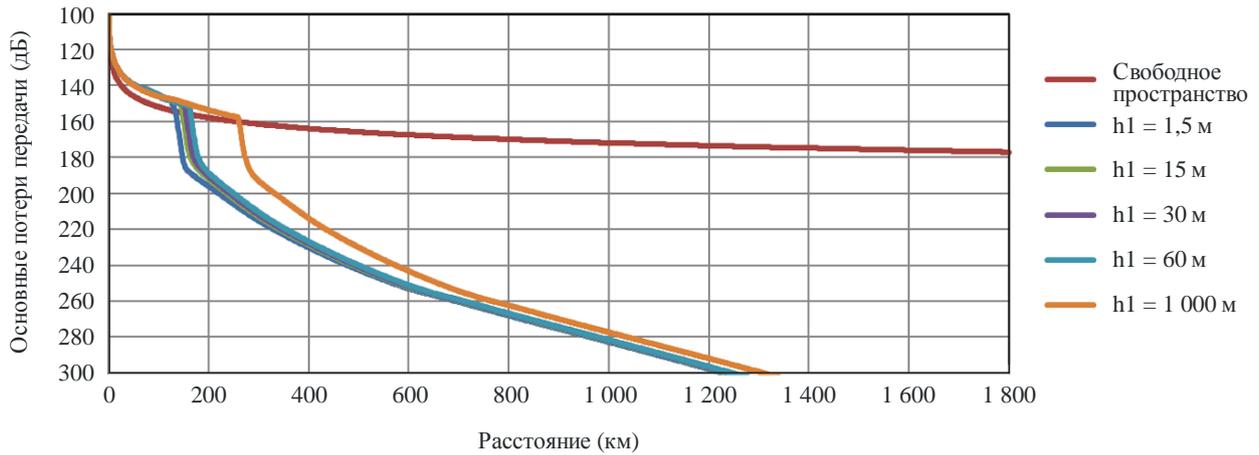
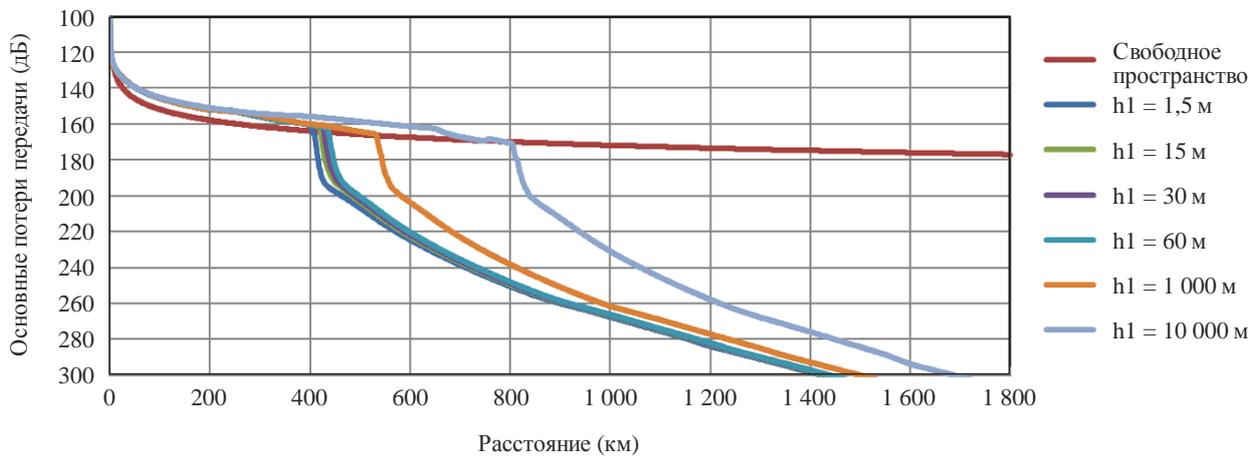
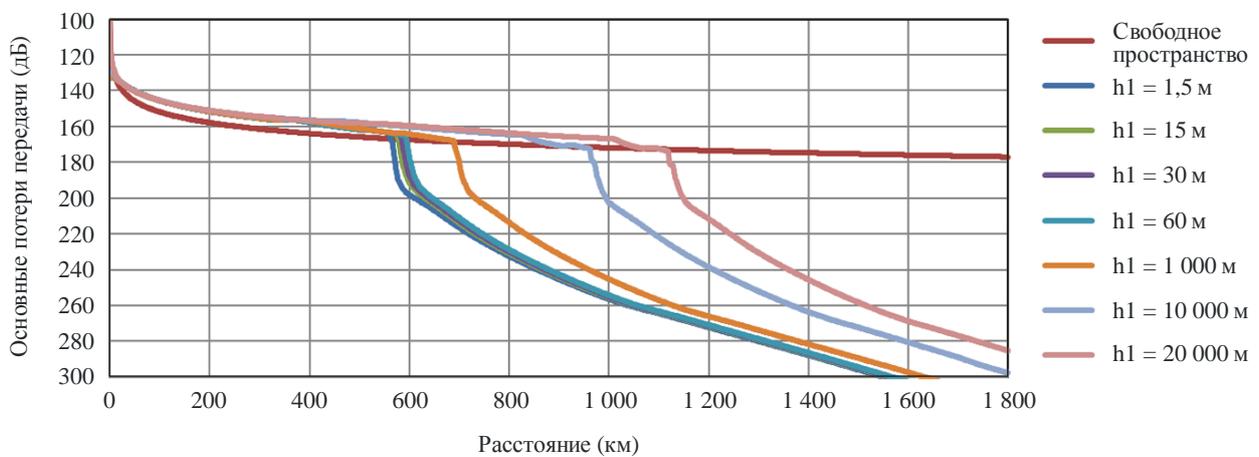
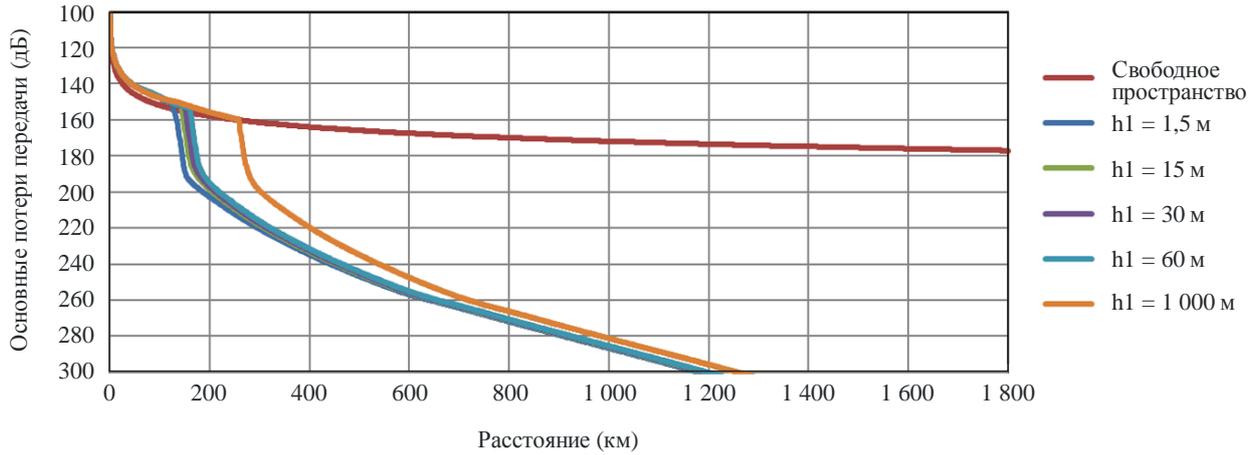
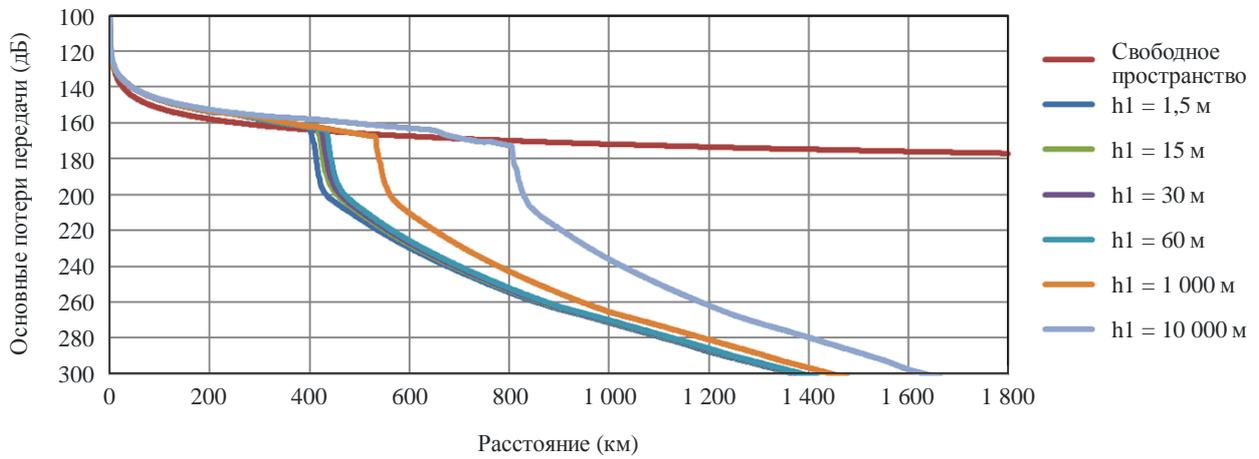
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 9400 МГц для 1% времени для значений h_1 а) $h_2 = 1\,000$ мб) $h_2 = 10\,000$ мв) $h_2 = 20\,000$ м

РИСУНОК 7-2

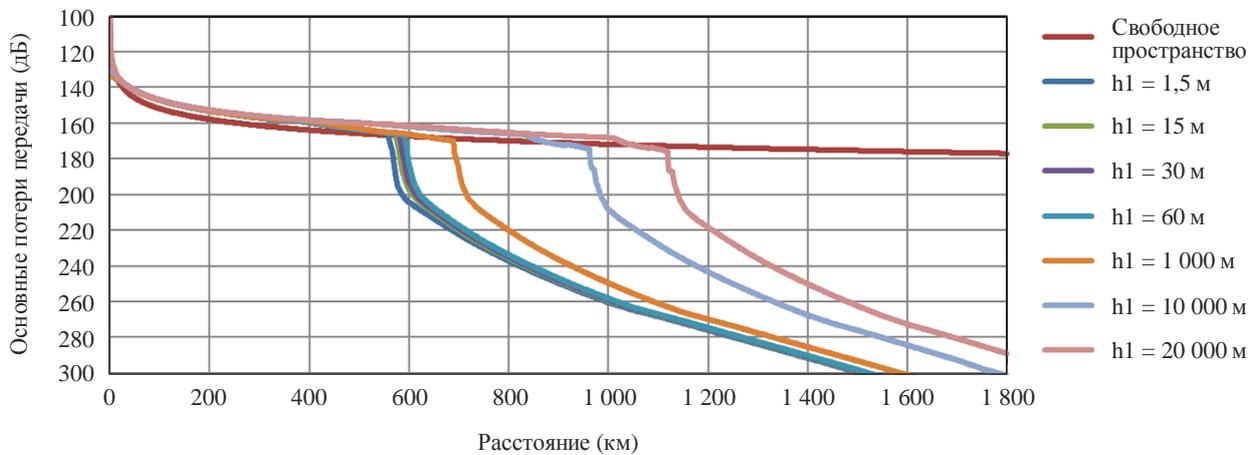
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 9400 МГц для 5% времени для значений h_1



а) $h_2 = 1\ 000$ м



б) $h_2 = 10\ 000$ м



в) $h_2 = 20\ 000$ м

РИСУНОК 7-3

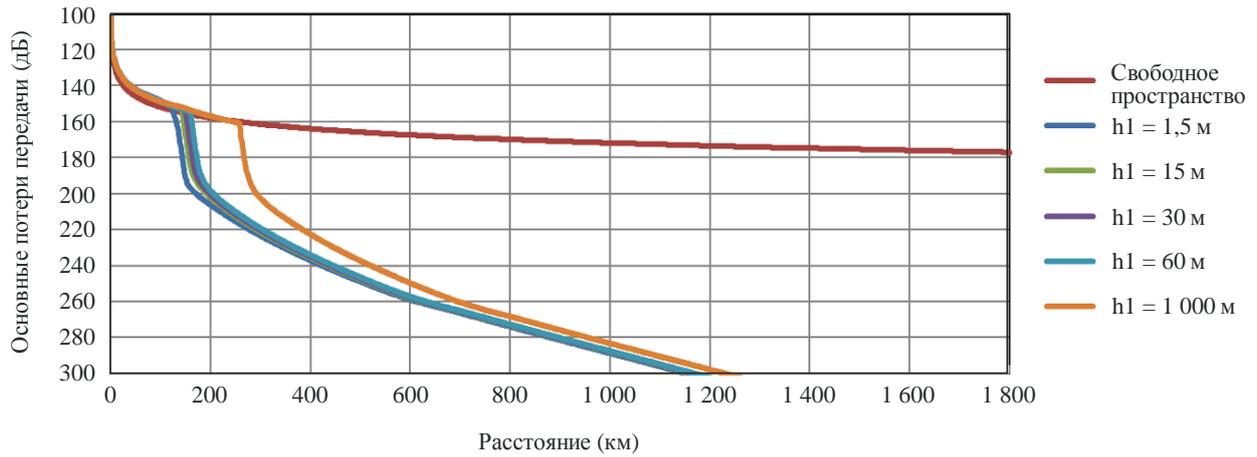
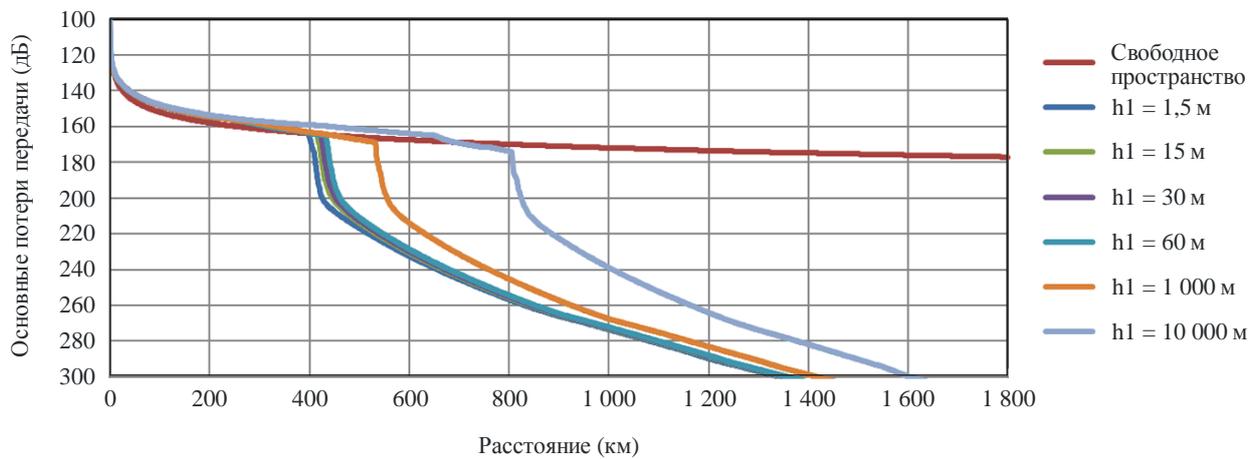
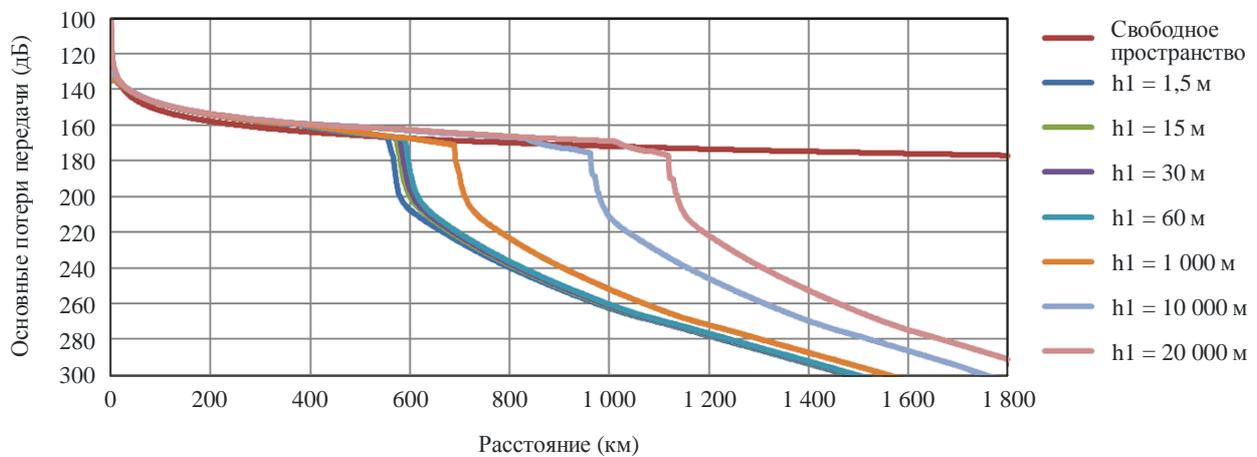
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 9400 МГц для 10% времени для значений h_1 а) $h_2 = 1\,000$ мб) $h_2 = 10\,000$ мв) $h_2 = 20\,000$ м

РИСУНОК 7-4

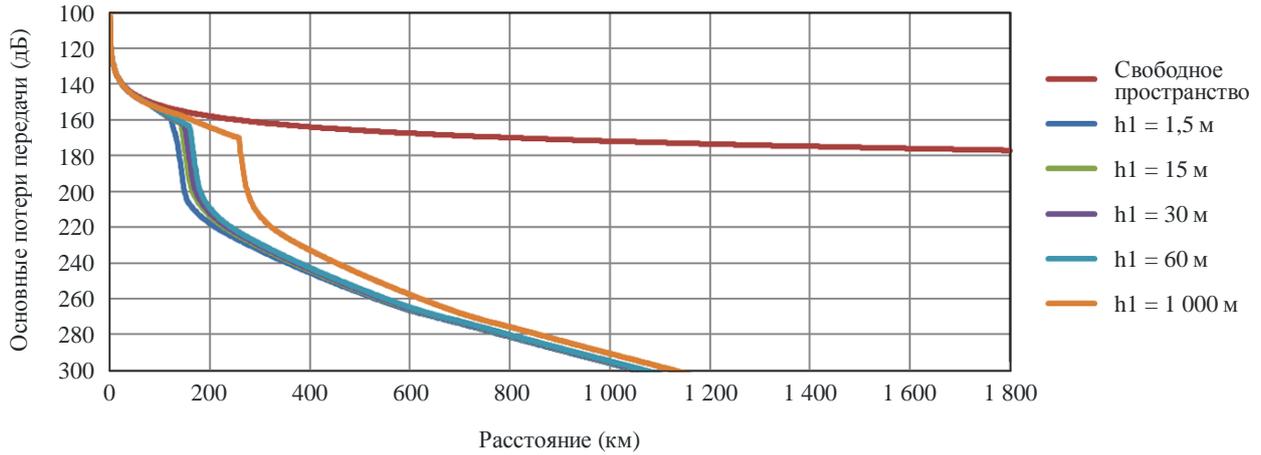
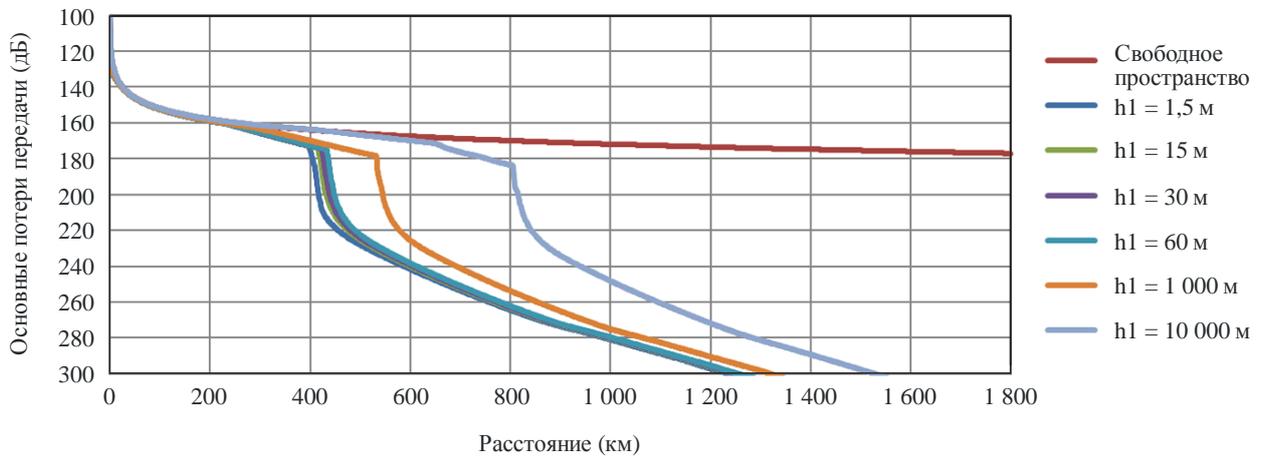
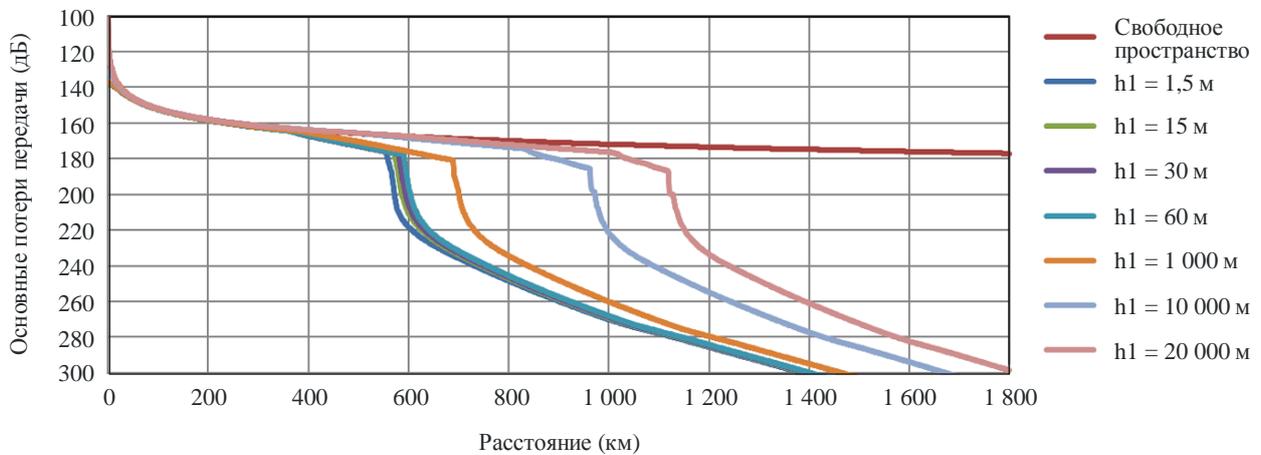
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 9400 МГц для 50% времени для значений h_1 а) $h_2 = 1\ 000\ м$ б) $h_2 = 10\ 000\ м$ в) $h_2 = 20\ 000\ м$

РИСУНОК 7-5

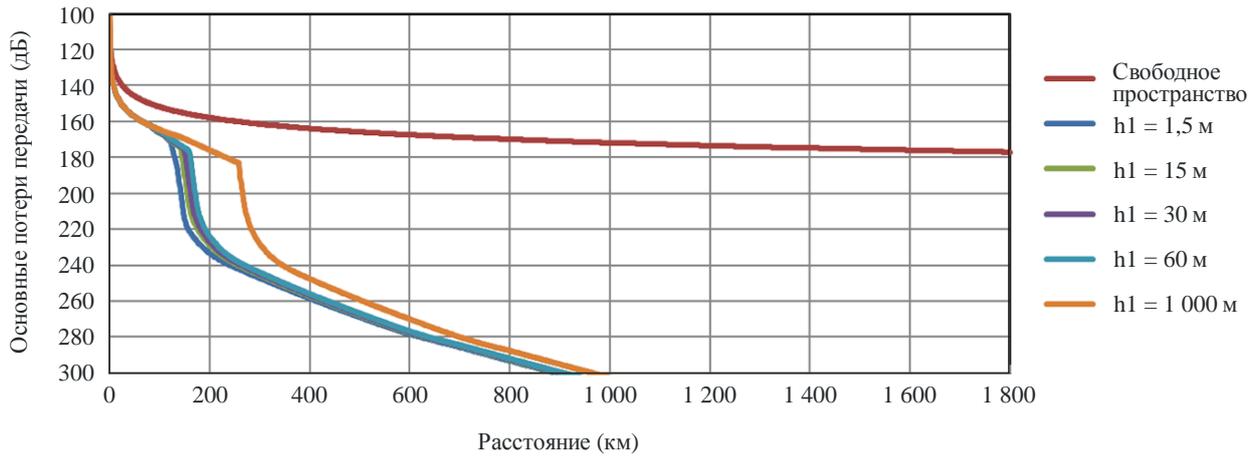
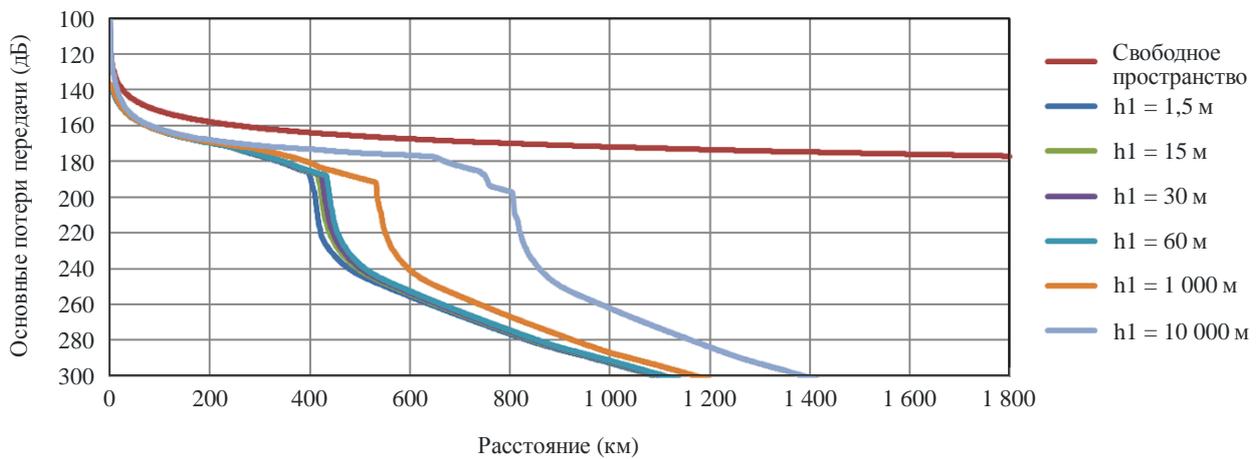
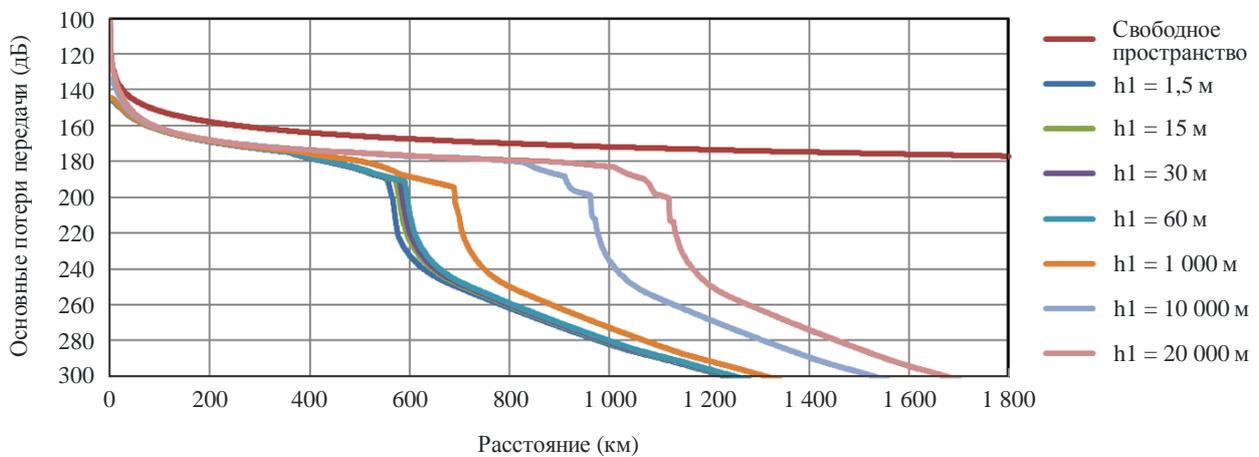
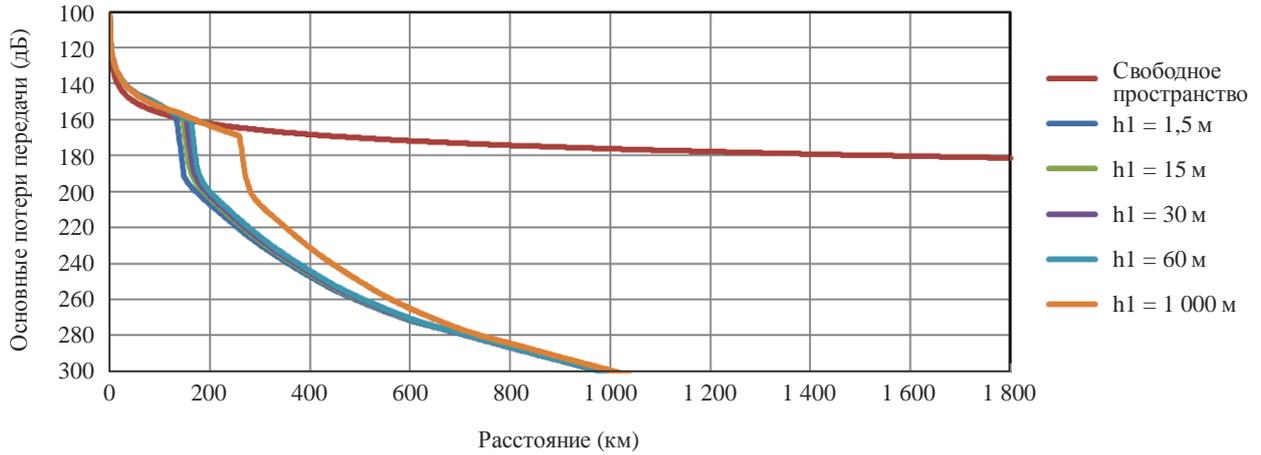
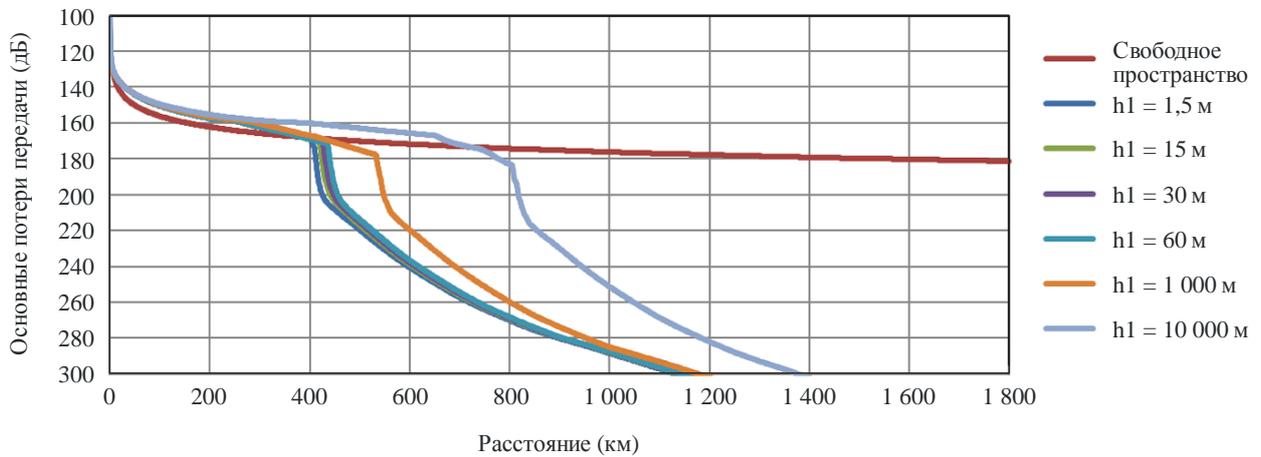
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 9400 МГц для 95% времени для значений h_1 а) $h_2 = 1\,000$ мб) $h_2 = 10\,000$ мв) $h_2 = 20\,000$ м

РИСУНОК 8-1

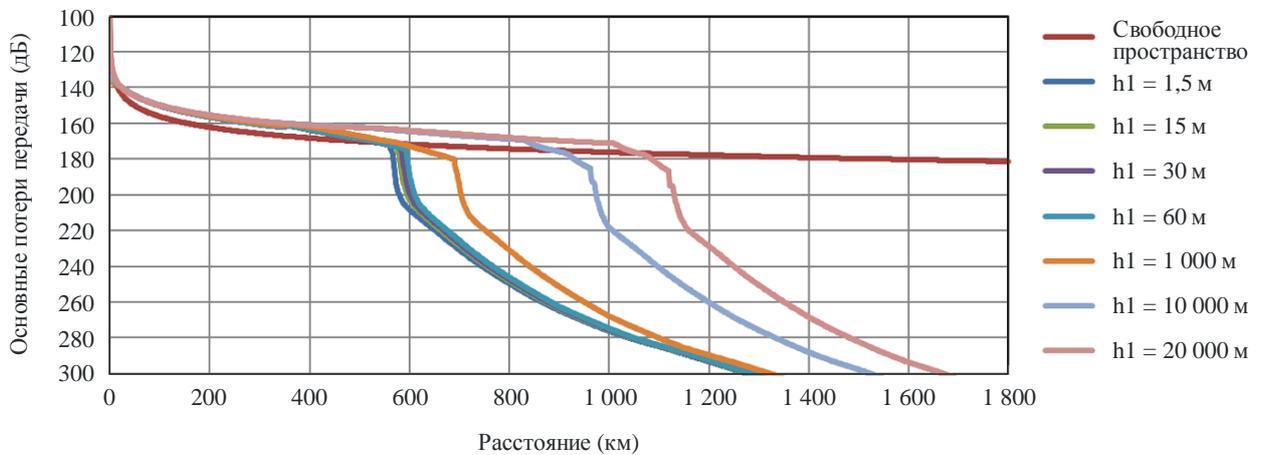
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 15 500 МГц для 1% времени для значений h_1



а) $h_2 = 1\,000$ м



б) $h_2 = 10\,000$ м



в) $h_2 = 20\,000$ м

РИСУНОК 8-2

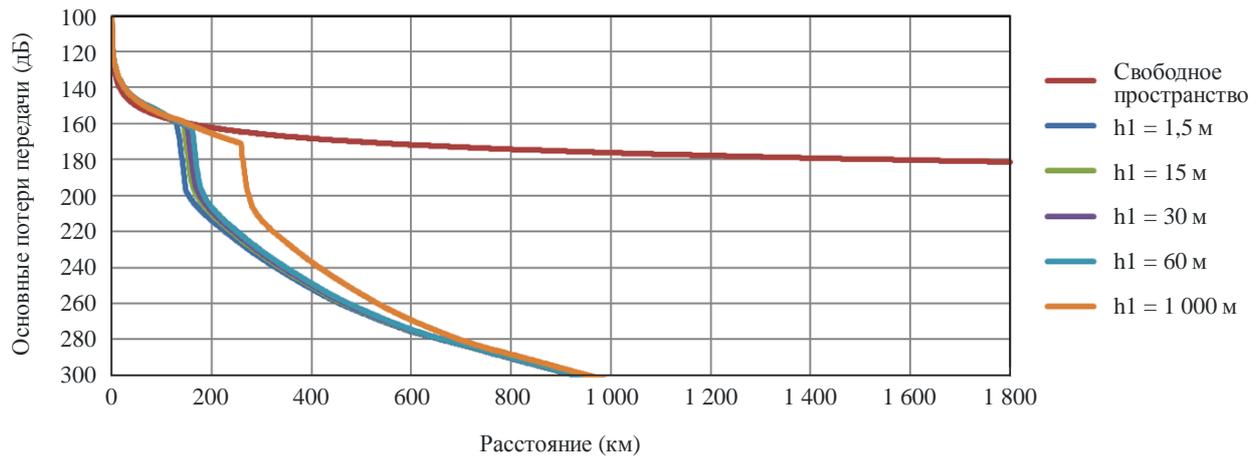
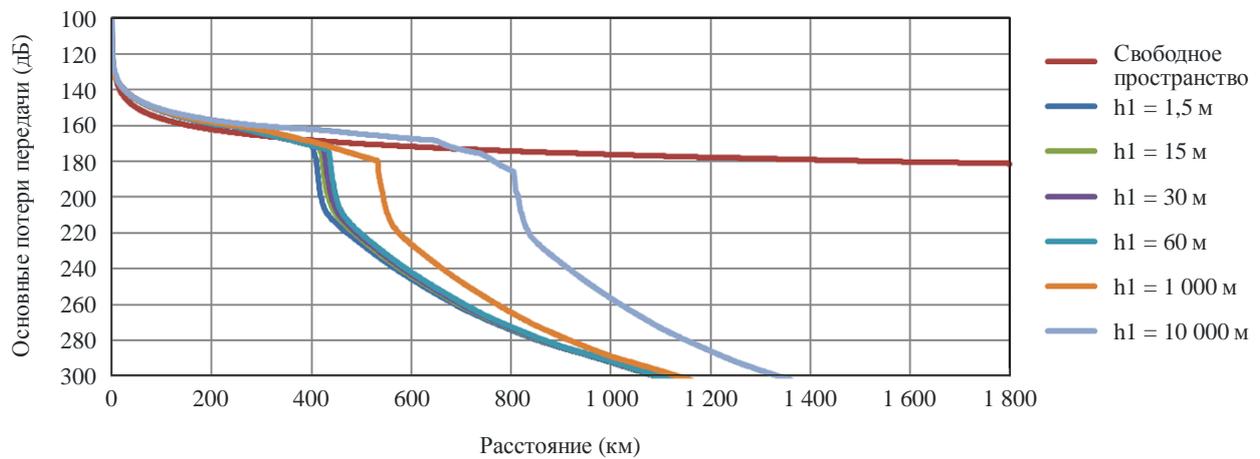
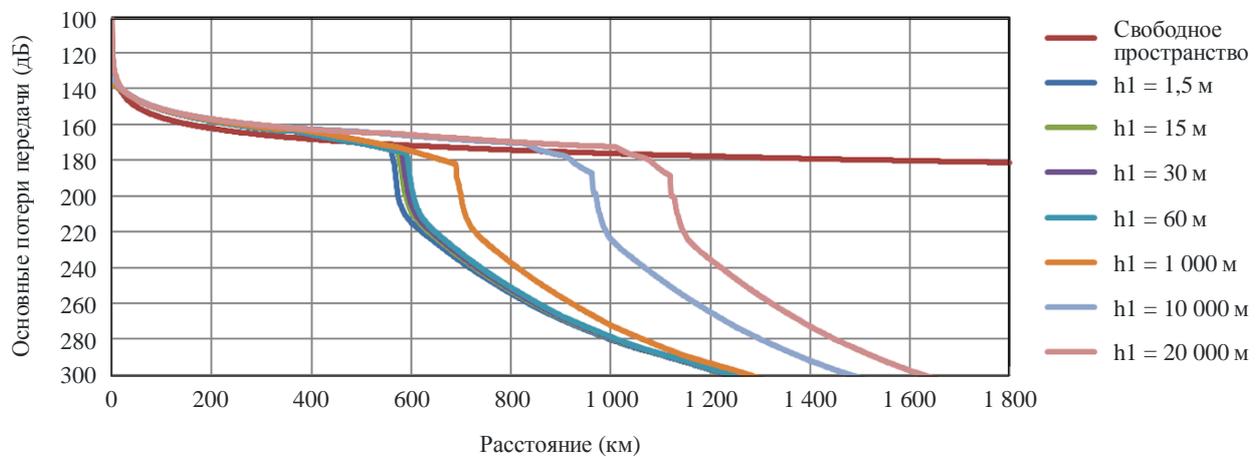
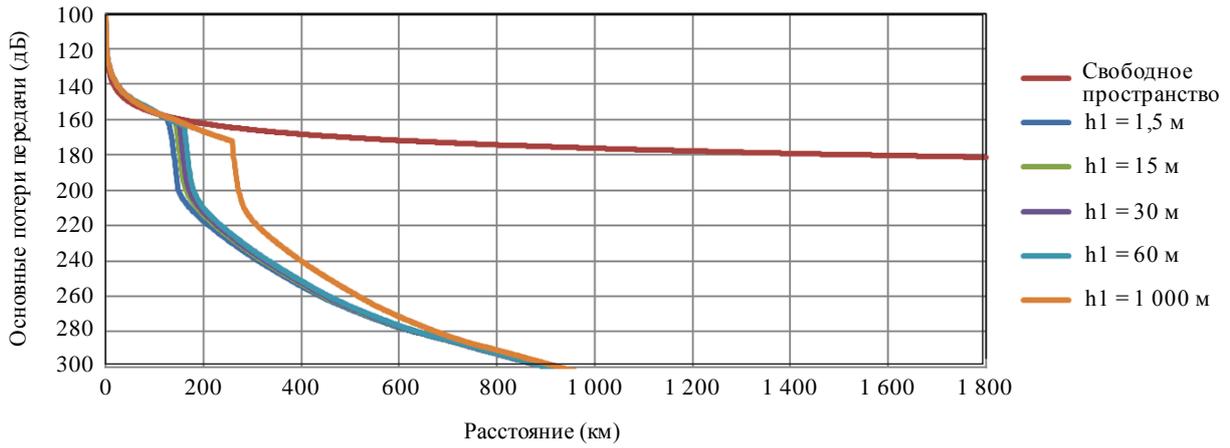
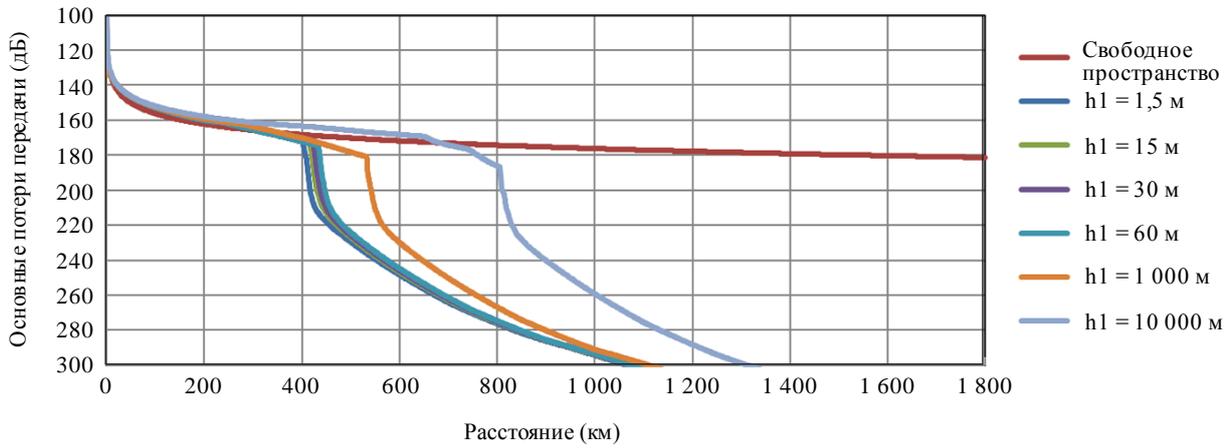
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 15 500 МГц для 5% времени для значений h_1 а) $h_2 = 1\,000$ мб) $h_2 = 10\,000$ мв) $h_2 = 20\,000$ м

РИСУНОК 8-3

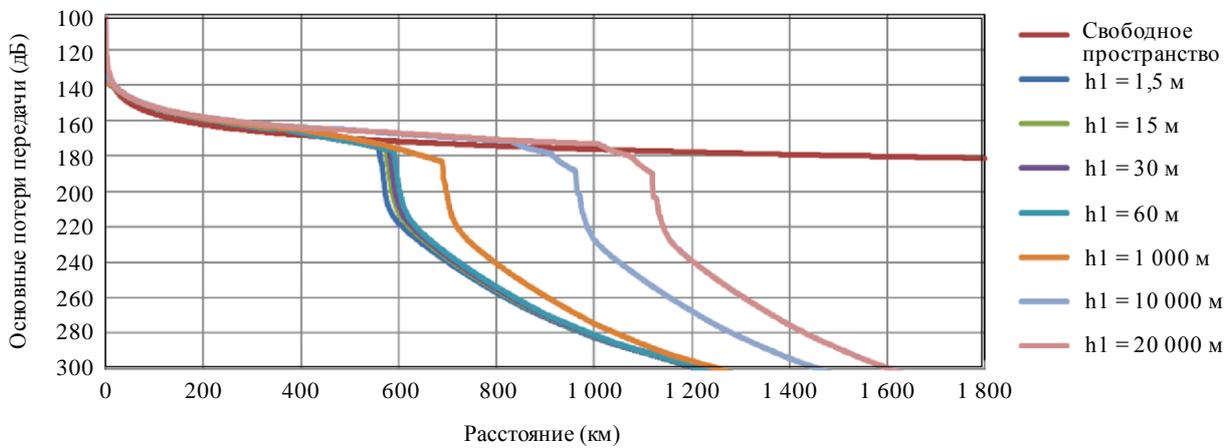
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 15 500 МГц для 10% времени для значений h_1



а) $h_2 = 1\ 000$ м



б) $h_2 = 10\ 000$ м



в) $h_2 = 20\ 000$ м

РИСУНОК 8-4

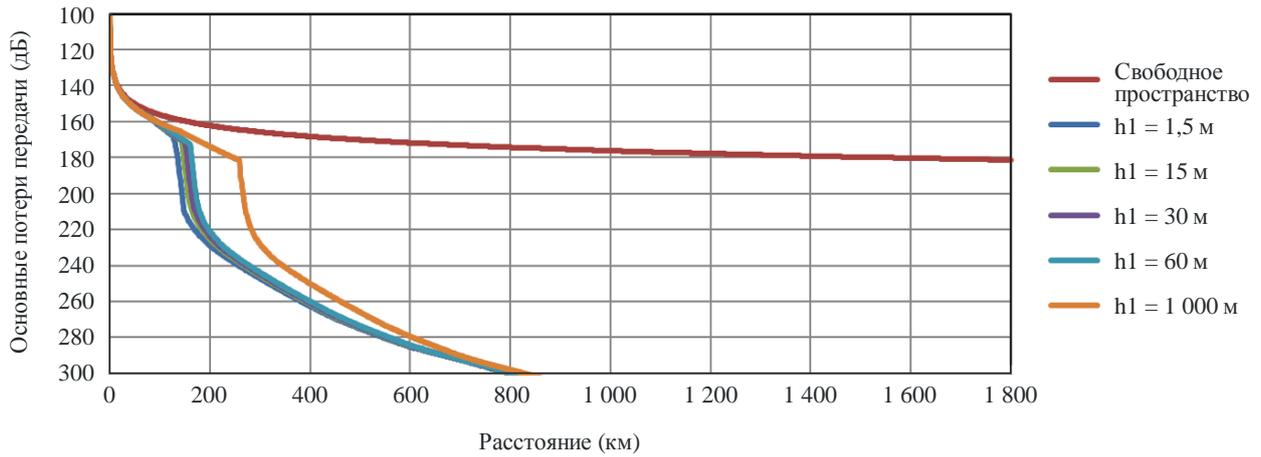
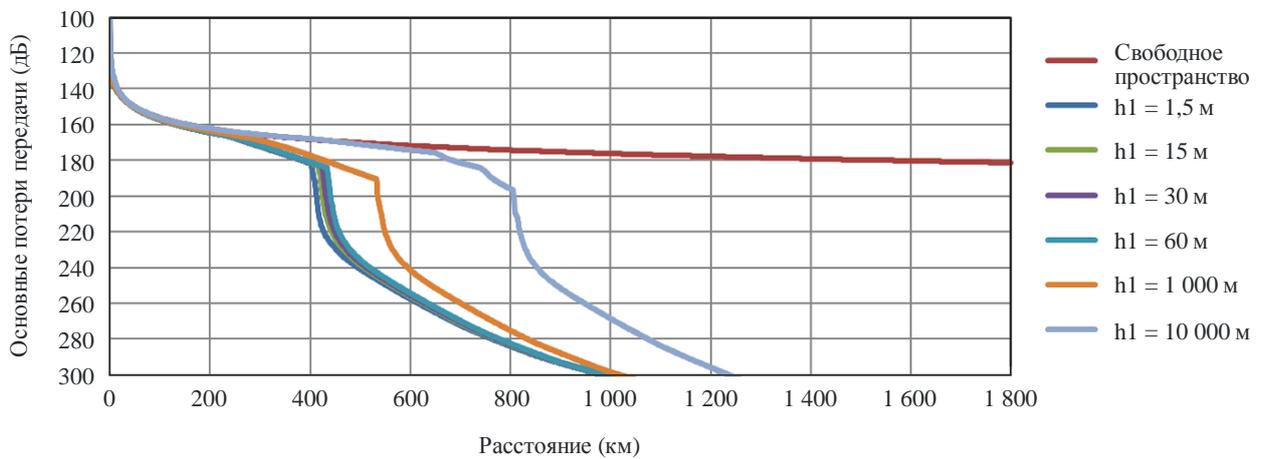
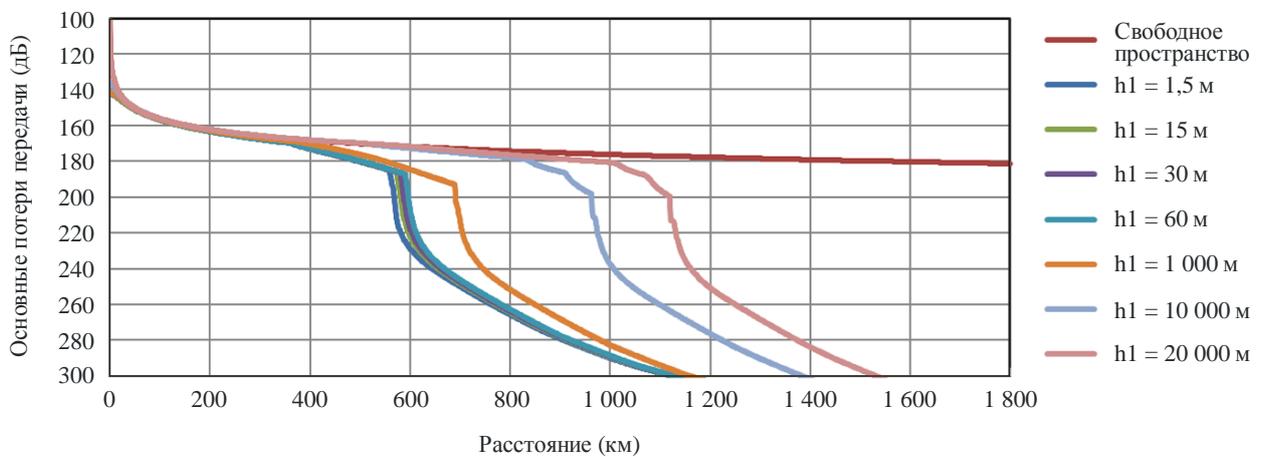
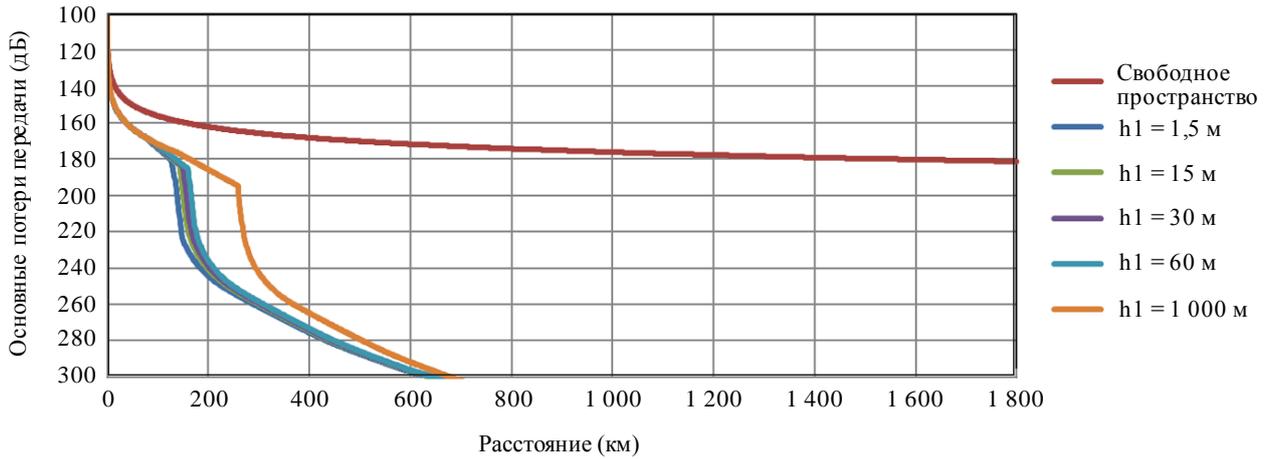
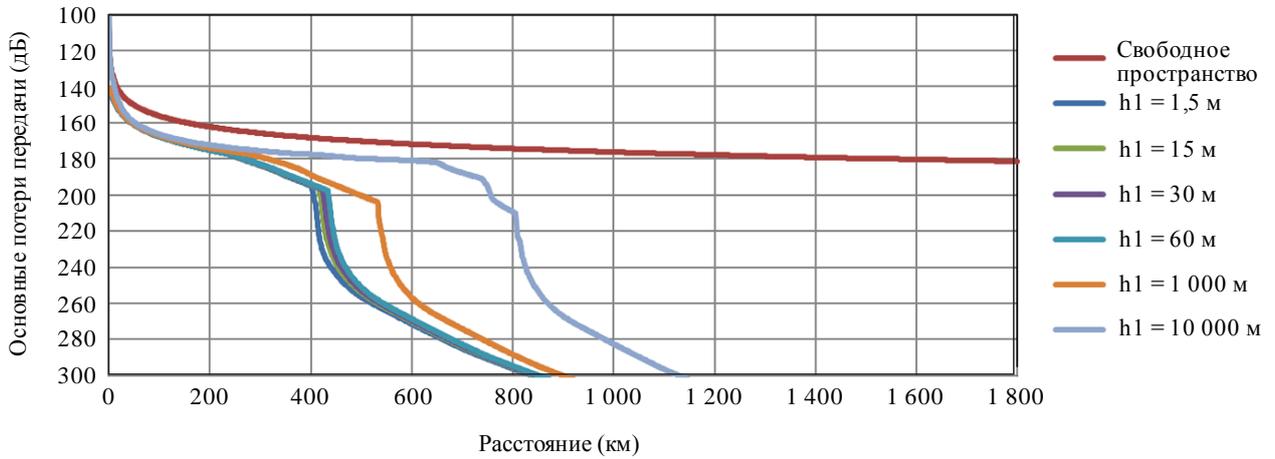
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 15 500 МГц для 50% времени для значений h_1 а) $h_2 = 1\ 000$ мб) $h_2 = 10\ 000$ мв) $h_2 = 20\ 000$ м

РИСУНОК 8-5

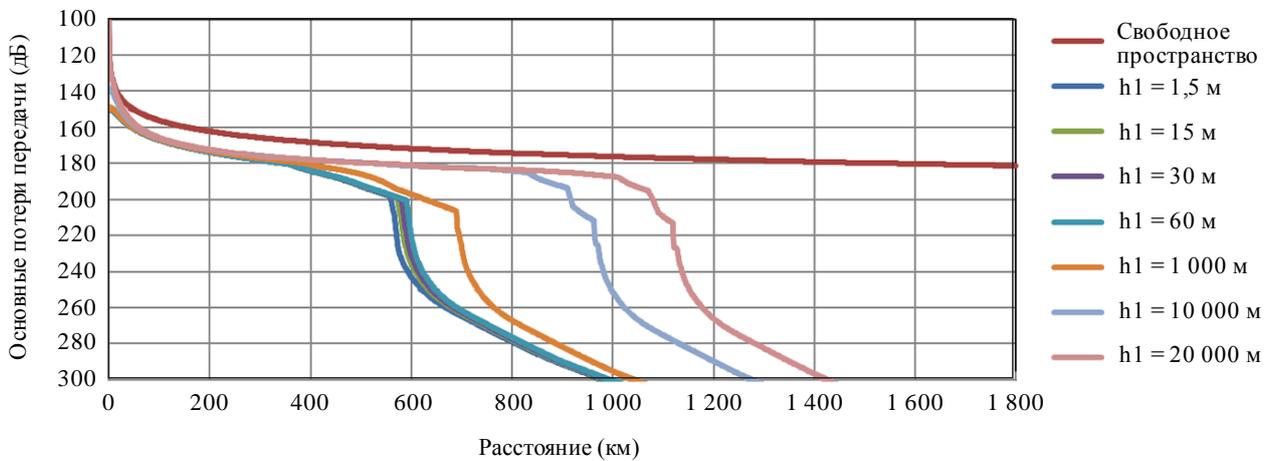
Семейство кривых для основных потерь передачи на частоте 15 500 МГц для 95% времени для значений h_1



а) $h_2 = 1\ 000$ м



б) $h_2 = 10\ 000$ м



с) $h_2 = 20\ 000$ м

Приложение 4

Результаты экспериментов

В Японии в ноябре 1982 года и в апреле и июне 1983 года были проведены эксперименты по распространению радиоволн на частоте 930 МГц на трассах воздух-земля. В соответствии с результатами испытаний потери при распространении радиоволн в пределах прямой видимости хорошо согласуются с величиной потерь в свободном пространстве. Расстояние прямой видимости, рассчитанное по данным измерений на высоте 10 000 м, оказалось короче, чем расстояние, определяемое по кривым, приведенным в Приложении 3.
