

## УДК 621.396.969.3

### Прогнозирование требований к системе подповерхностного зондирования методом экстраполяции (секция «Информационные радиотехнологии»)

*А.А. Иванова, Н.Н. Лавринчик, Ян Мьо Аунг, Е Йинт Ко Ко*

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Гринкевич А.В. – канд. техн. наук, доцент каф. ИРТ

В статье рассматривается подход к обоснованию требований к системе подповерхностного зондирования на основе прогнозирования развития средств поиска заглубленных объектов.

**Ключевые слова:** Подповерхностное зондирование, Заглубленные объекты, Метод Экстраполяции.

#### Введение

Вопрос эффективного поиска заглубленных объектов является открытым, что обусловлено широким применением взрывных устройств в диэлектрических корпусах, поиск которых традиционными индукционными средствами затруднен [1]. В этой связи, во многих странах мира проводятся исследования по улучшению эффективности систем поиска заглубленных объектов. Одним из перспективных направлений является разработка устройств, использующих радиолокационный метод обнаружения заглубленных объектов [2-3]. Для разработки радиолокационного обнаружителя (системы подповерхностного зондирования заглубленных объектов), способного обнаруживать взрывоопасные предметы (ВОП) с заданными вероятностями правильного обнаружения и ложного срабатывания, необходимо обосновать тактико-технические требования (ТТТ), которые являются основой тактико-технического задания (ТТЗ) на опытно-конструкторскую работу (ОКР) по созданию указанной системы.

ТТТ к системе подповерхностного зондирования заглубленных объектов (СПЗ) необходимо формулировать исходя из ее предназначения, целей, задач, условий работы и т.д. При этом особое внимание необходимо уделять особенностям работы СПЗ (тип грунта, его влажность, вид и параметры помех), тактико-техническим характеристикам (ТТХ) ВОП и способам их применения с учетом перспектив развития на момент создания и срок эксплуатации разрабатываемой системы [4-6]. С учетом этого предлагается подход к обоснованию ТТТ к СПЗ, схематично представленный в виде блок-схемы на рисунке 1.

#### 1. Порядок обоснования ТТТ в части касающейся требований по назначению

Для определения данных требований необходимо провести исследования по обоснованию требований к уровню ТТХ СПЗ и прогнозированию потенциально достижимых уровней ТТХ средств поиска заглубленных объектов (рис. 1).

При обосновании требований к уровню ТТХ СПЗ необходимо придерживаться принципа соответствия возможностей (эффективности) данного средства поиска заглубленных объектов задачам по гуманитарному разминированию местности, связанному с поиском ВОП, оставшихся после войн и военных конфликтов в земле на различных глубинах остались разные взрывоопасные заглубленные объекты с разными глубинами залегания, формами и типами корпусов. Наличие большого разнообразия ВОП, широкого диапазона глубин их нахождения

в земле, минимального количества металла в составе отдельных ВОП, присутствие большого количества ложных объектов из металла различных размеров (пуль, осколков снарядов, элементов боевого снаряжения личного состава и техники и т.д.) значительно затрудняет их эффективное обнаружение на заданной глубине. Данное обстоятельство оказывает значительное влияние на формирование требований по назначению к СПЗ.

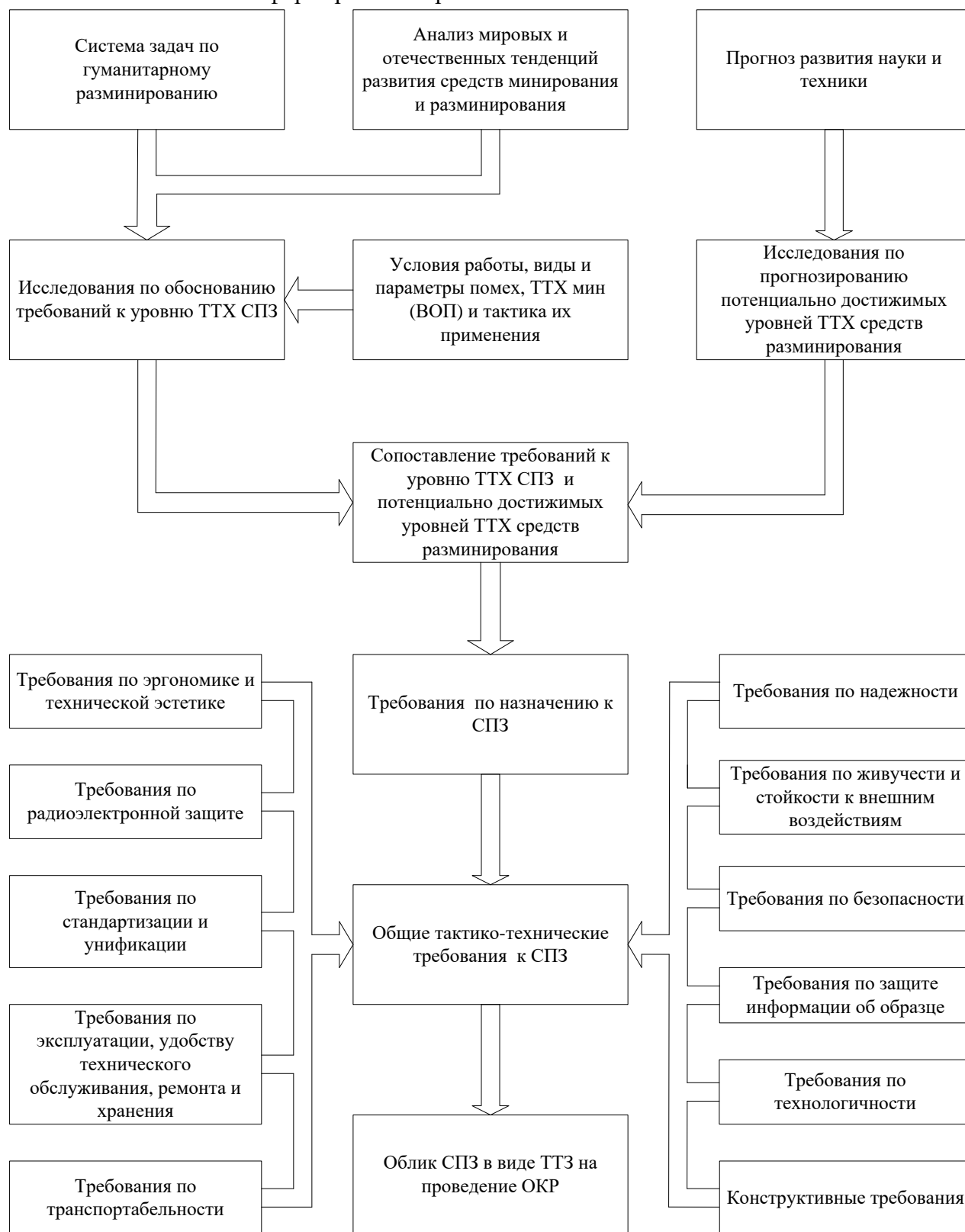


Рисунок 1 – Блок-схема обоснования ТТТ к СПЗ

В соответствии с представленной блок-схемой кроме задач по гуманитарному разминированию, немаловажное значение для формирования требований к СПЗ играют

мировые и отечественные тенденции развития средств минирования и разминирования, анализ которых позволил оценить перспективность проводимых разработок и уточнить предъявляемые к СПЗ требования. Для формирования требований к СПЗ в качестве исходных данных также использовались условия работы системы, виды и параметры помех, ТТХ заглобленных объектов и тактика их применения [3].

Прогнозирование потенциально достижимых уровней ТТХ средств разминирования осуществлялось на основе анализа развития науки и техники, определяющего научно-технологические предпосылки для создания перспективного образца, а также данных о предыстории их развития (ТТХ существующих и устаревших).

Для определения потенциально достижимых уровней ТТХ средств поиска заглобленных объектов целесообразно использовать статистические методы прогнозирования (экстраполяции, регрессивного и корреляционного анализа) [8-9]. Основой данных методов являются данные о состоянии объекта прогнозирования в прошлом и определение его состояния в будущем при определенных условиях. Для прогнозирования уровней развития основных тактико-технических характеристик средств обнаружения заглобленных объектов был выбран экстраполяционный метод, в котором неизвестные параметры аппроксимирующей функции определяются методом средних.

В качестве исходных данных для прогнозирования были выбраны основные ТТХ средств поиска заглобленных объектов, оказывающие непосредственное влияние на выполнение задач по поиску объектов на местности (таблица 1). Средства поиска заглобленных объектов сортировались по годам принятия на вооружение, из каждой группы выбирались наиболее эффективные образцы [1-3, 7, 10-12].

Таблица 1. Тактико-технические характеристики средств поиска заглобленных объектов

Технические характеристики	Динамика изменения ТТХ средств поиска заглобленных объектов по годам							
	ВИМ-625	УМИВ	ИМП	ИМП-2	ММП	АН-19/2	«Уайт»	VMR3
Год ввода в эксплуатацию	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
Глубина обнаружения противотанковой мины (ПТМ), см:								
исходные данные	35	40	40	45	50	50	80	120
сглаженные значения	36	38	42	45	48	60	83	118
Глубина обнаружения противопехотной мины (ППМ), см:								
исходные данные	3	4	8	8	10	10	14	20
сглаженные значения	3	5	7	8	10	12	15	20
Производительность поиска, м <sup>2</sup> /ч:								
В положении «лежа»								
исходные данные	100	100	120	150	140	150	180	180
сглаженные значения	97	107	123	137	147	157	170	185
В положении «стоя»								
исходные данные	200	200	250	300	180	300	400	400
сглаженные значения	190	219	237	251	265	307	359	420
Количество ложных срабатываний на одну обнаруженную мину	–	–	–	до 1000	–	до 500	до 200	до 5
Вероятность обнаружения ВОП	–	–	–	более 0,8	–	более 0,9	–	более 0,95

С целью снижения влияния случайной составляющей в числовом ряду исходных данных было осуществлено их сглаживание методом скользящей средней по трем точкам с помощью

многочленов первой степени. При необходимости цикл сглаживания повторялся. Формулы, которые применялись для сглаживания, имеют вид [9]:

$$\tilde{y}_0 = \frac{1}{3}(y_{-1} + y_0 + y_{+1}), \quad (1)$$

$$\tilde{y}_{-1} = \frac{1}{6}(5y_{-1} + 2y_0 - y_{+1}), \quad (2)$$

$$\tilde{y}_{+1} = \frac{1}{6}(-y_{-1} + 2y_0 + 5y_{+1}), \quad (3)$$

где  $y_0, \tilde{y}_0$  – значение исходной и сглаженной функции в средней точке;

$y_{-1}, \tilde{y}_{-1}$  – значение исходной и сглаженной функции в левой от средней точке;

$y_{+1}, \tilde{y}_{+1}$  – значение исходной и сглаженной функции в правой от средней точке.

Формулы (2), (3) применяются по краям интервала.

Результаты сглаживания исходных данных представлены в соответствующих строках таблицы 1.

Следующим этапом прогнозирования является подбор аппроксимирующей функции, с достаточной точностью, описывающей исследуемый процесс развития ТТХ средств поиска заглубленных объектов во времени. Для этого график сглаженного ряда анализируется визуально с целью определения соответствующего ему тренда из конечного числа простых функций, отобранных в процессе анализа [9]. Общий состав функций, из которых осуществляется отбор, представлен 10 – 15 функциями. Наиболее часто применяются следующие функции: линейная, парабола, кубическая парабола, степенная, экспоненциальная, гиперболическая, Гомпертца, колебательная и др. Также для выбора аппроксимирующей функции может использоваться прием, основанный на том, что определенные соотношения между входной и выходной величиной предполагают ту или иную функциональную зависимость.

При осуществлении выбора аппроксимирующей функции для глубины обнаружения ПТМ было определено, что наиболее близкая к искомой функции – кубическая парабола вида:

$$y(t) = a_1 + a_2t + a_3t^2 + a_4t^3, \quad (4)$$

где  $a_1, a_2, a_3, a_4$  – неизвестные параметры функции, подлежащие определению;

$t$  – переменная (в нашем случае это время, в течение которого происходит изменение ТТХ).

Учитывая равные интервалы времени по 10 лет с 1940 по 2010 годы (таблица 1), для удобства при проведении расчетов переменной  $t$  целесообразно присваивать значения в виде натуральных чисел от 1 до 8 соответственно рассматриваемому году.

Для определения неизвестных параметров аппроксимирующей функции использовался метод средних. Данный метод основан на минимизации алгебраической суммы отклонения точек от аппроксимирующей кривой. Критерий оптимальности записывается в виде [9]:

$$\sum_{i=1}^n [y_i - f(x_i, a_1, a_2, \dots, a_m)] \rightarrow \min, \quad (5)$$

где  $y_i, x_i$  – ордината и абсцисса  $i$ -й точки ряда;

$a_1, a_2, \dots, a_m$  – параметры аппроксимирующей кривой.

Для определения неизвестных параметров функции, согласно указанному методу, была составлена система уравнений (4) для четырех точек ( $t_1 = 1, t_2 = 3, t_3 = 6, t_4 = 8$ ):

$$\begin{cases} a_1 + a_2 + a_3 + a_4 - 36 = 0, \\ a_1 + 3a_2 + 9a_3 + 27a_4 - 42 = 0, \\ a_1 + 6a_2 + 36a_3 + 216a_4 - 60 = 0, \\ a_1 + 8a_2 + 64a_3 + 512a_4 - 118 = 0. \end{cases} \quad (6)$$

В результате решения системы уравнений (6) получены значения искоемых параметров:

$a_1 = 25; a_2 = 16,03; a_3 = -5,114; a_4 = 0,571$ . Соответственно аппроксимирующая функция записывается в виде:

$$y_{nm}^*(t) = 25 + 16,03t - 5,114t^2 + 0,571t^3. \quad (7)$$

Точность приближения аппроксимирующей функции к реальному процессу можно оценить по величине вариации, вычисляемой согласно выражению:

$$\delta = \frac{\overline{(y_i - y_i^*)^2}}{y_i^2 - y_i^{*2}} \times 100\%, \quad (8)$$

где  $y_i$  – значение реальной функции, взятое из таблицы 1;

$y_i^*$  – значение аппроксимирующей функции, вычисленной по (7).

Коэффициент вариации  $\delta$  измеряется в % и показывает расхождение между аппроксимирующей и реальной функцией, описывающей исследуемый процесс. Чем меньше значение  $\delta$ , тем меньше расхождение между указанными функциями. Коэффициент вариации порядка нескольких процентов говорит о достаточном сходстве между аппроксимирующей и реальной функциями. По результатам расчетов  $\delta \approx 2,6\%$ , что говорит о приемлемости полученного результата. Для рассматриваемой нами характеристики (глубины обнаружения заглубленных объектов) значения аппроксимирующей функции в соответствующие интервалы времени, вычисленные в соответствии с (7) представлены в таблице 2.

Графики реального процесса и найденной аппроксимирующей функции показаны на рисунке 2. а.

Таблица 2 – ТТХ, вычисленные по аппроксимирующим функциям

Технические характеристики	Значения параметра $t$ /соответствует году выпуска								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2020
Глубина обнаружения ПТМ, см	36	41	42	44	49	60	82	118	171
Глубина обнаружения ППМ, см	3	5	6,6	8	9,7	12	15,4	20,1	27
Производительность поиска, м <sup>2</sup> /ч: лежа стоя	97	110	123	136	149	162	175	188	201
	189	217	236	254	275	306	352	419	513
Количество ложных срабатываний на одну обнаруженную мину	–	–	–	1000	698	432	202	8	0,001
Вероятность обнаружения ВОП				0,802	0,84	0,878	0,916	0,954	0,992

При осуществлении выбора аппроксимирующей функции для глубины обнаружения ППМ определено, что наиболее подходящей аппроксимирующей функцией также является кубическая парабола вида (4). Для определения неизвестных параметров функции была составлена система уравнений для точек  $t_1=1$ ,  $t_2=4$ ,  $t_3=6$ ,  $t_4=8$ :

$$\begin{cases} a_1 + a_2 + a_3 + a_4 - 3 = 0, \\ a_1 + 4a_2 + 16a_3 + 64a_4 - 8 = 0, \\ a_1 + 6a_2 + 36a_3 + 216a_4 - 12 = 0, \\ a_1 + 8a_2 + 64a_3 + 512a_4 - 20 = 0. \end{cases} \quad (9)$$

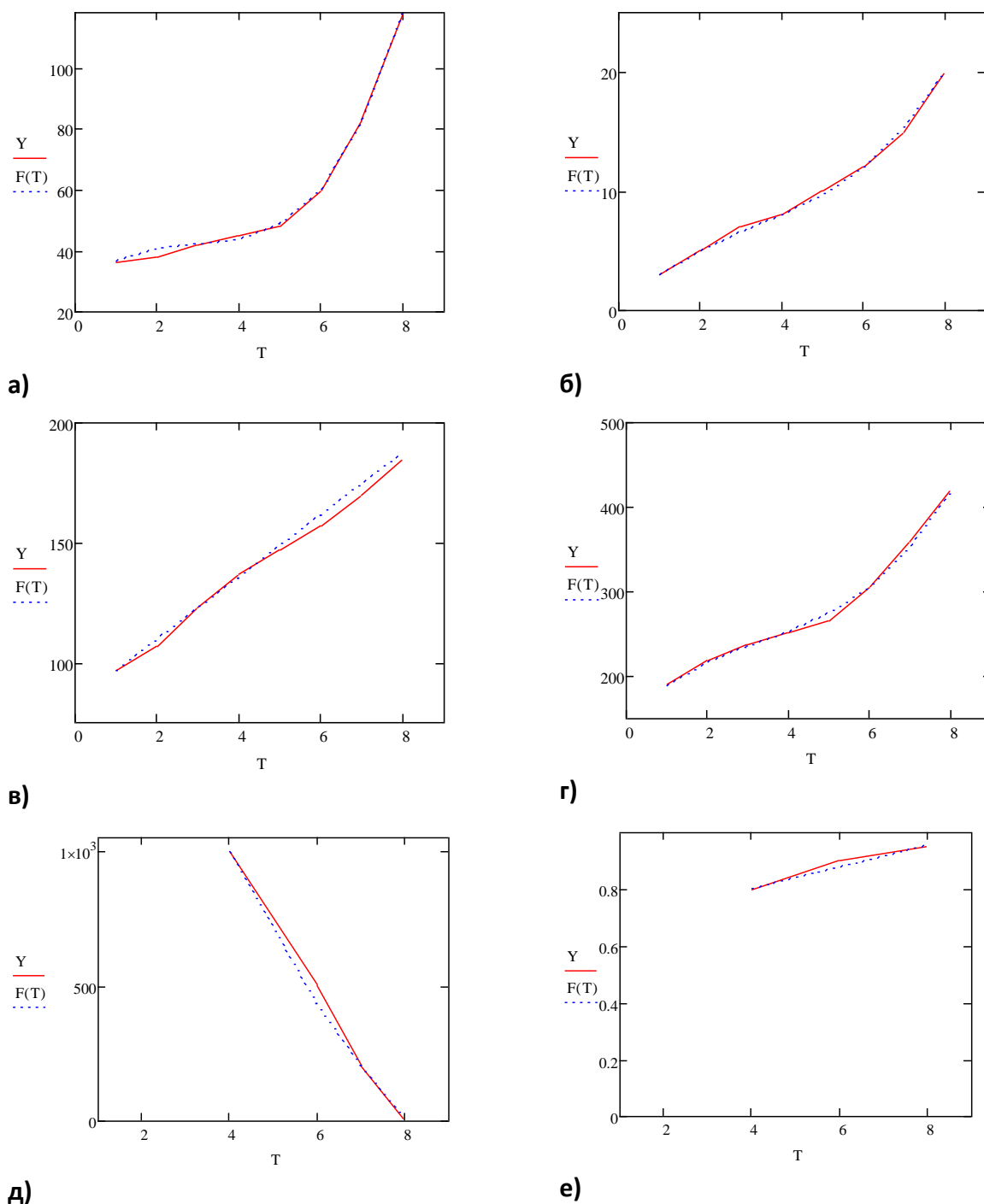
В результате решения системы (9) выражение, описывающее аппроксимирующую функцию (4) примет вид:

$$y_{нм}^*(t) = 0,114 + 3,438t - 0,614t^2 + 0,062t^3. \quad (10)$$

Значения аппроксимирующей функции, вычисленные по (10) представлены в соответствующей строке таблицы 2. Графики реального процесса и найденной аппроксимирующей функции показаны на рисунке 2. б. Величина вариации, вычисленная по (8)  $\delta \approx 0,84\%$ , что говорит о достаточной точности определения функции.

При осуществлении выбора аппроксимирующей функции для производительности поиска ВОП в положении «лежа» было определено, что наиболее близкая к искомой функции – прямая вида:

$$y_{нл}^*(t) = a_1 + a_2t. \quad (11)$$



**Рисунок 2.** – Графики реального процесса  $Y$  (описывающего изменение ТТХ во времени) и аппроксимирующей функции  $F(T)$

а) для глубины обнаружения ПТМ; б) для глубины обнаружения ППМ; в) для производительности поиска лежа; г) для производительности поиска стоя; д) для количества ложных срабатываний; е) для вероятности обнаружения ВОП

При нахождении неизвестных параметров методом средних составлена система уравнений для точек  $t_1=1$ ,  $t_2=8$ :

$$\begin{cases} a_1 + a_2 - 97 = 0, \\ a_1 + 8a_2 - 185 = 0. \end{cases} \quad (12)$$

В результате решения системы (12) выражение, описывающее аппроксимирующую функцию (11) примет вид:

$$y_{nl}^*(t) = 84 + 13t. \quad (13)$$

Значения аппроксимирующей функции, вычисленные по (13) представлены в таблице 2. Величина вариации, вычисленная по (8)  $\delta \approx 1,4\%$ , что говорит о хорошей точности определения функции. Графики реального процесса и найденной аппроксимирующей функции показаны на рис. 2. в.

При осуществлении выбора аппроксимирующей функции для производительности поиска ВОП в положении стоя было определено, что наиболее близкая к искомой функции – кубическая парабола вида (4). Для определения неизвестных параметров функции была составлена система уравнений для точек  $t_1=1$ ,  $t_2=3$ ,  $t_3=6$ ,  $t_4=8$ :

$$\begin{cases} a_1 + a_2 + a_3 + a_4 - 190 = 0, \\ a_1 + 3a_2 + 9a_3 + 27a_4 - 237 = 0, \\ a_1 + 6a_2 + 36a_3 + 216a_4 - 307 = 0, \\ a_1 + 8a_2 + 64a_3 + 512a_4 - 420 = 0. \end{cases} \quad (14)$$

В результате решения системы (14) выражение, описывающее аппроксимирующую функцию (4) примет вид:

$$y_{ncm}^*(t) = 149 + 49t - 9,5t^2 + 0,95t^3. \quad (15)$$

Значения аппроксимирующей функции, вычисленные по (15) представлены в соответствующей строке таблицы 2. Графики реального процесса и найденной аппроксимирующей функции показаны на рисунке 2. г. Величина вариации, вычисленная по (8)  $\delta \approx 1,4\%$ , что говорит о хорошей точности определения функции.

При осуществлении выбора аппроксимирующей функции для количества ложных срабатываний на одну обнаруженному объекту было определено, что наиболее близкая к искомой функции – парабола вида:

$$y(t) = a_1 + a_2t + a_3t^2, \quad (16)$$

Для определения неизвестных параметров функции была составлена система уравнений для точек  $t_1=4$ ,  $t_2=7$ ,  $t_3=8$ :

$$\begin{cases} a_1 + 4a_2 + 16a_3 - 1000 = 0, \\ a_1 + 7a_2 + 49a_3 - 200 = 0, \\ a_1 + 8a_2 + 64a_3 - 5 = 0. \end{cases} \quad (17)$$

В результате решения системы (17) выражение, описывающее аппроксимирующую функцию (16) примет вид:

$$y_{lc}^*(t) = 2568 - 464t + 18t^2. \quad (18)$$

Значения аппроксимирующей функции, вычисленные по (18) представлены в соответствующей строке таблицы 2. Графики реального процесса и найденной аппроксимирующей функции показаны на рисунке 2. д. Величина вариации, вычисленная по (8)  $\delta \approx 7\%$ , что говорит о приемлемой точности определения аппроксимирующей функции.

При осуществлении выбора аппроксимирующей функции для вероятности



обнаружения ВОП было определено, что наиболее близкая к искомой функции – прямая вида (11).

При нахождении неизвестных параметров методом средних составлена система уравнений для точек  $t_1=4$ ,  $t_2=8$ :

$$\begin{cases} a_1 + 4a_2 - 0,8 = 0, \\ a_1 + 8a_2 - 0,95 = 0. \end{cases} \quad (19)$$

В результате решения системы (19) выражение, описывающее аппроксимирующую функцию (11) примет вид:

$$y_{обн}^*(t) = 0,65 + 0,038t. \quad (20)$$

Значения аппроксимирующей функции, вычисленные по (20) представлены в таблице 2. Величина вариации, вычисленная по (8):  $\delta \approx 1,8\%$ , что говорит о хорошей точности определения аппроксимирующей функции. Графики реального процесса и найденной аппроксимирующей функции показаны на рис. 2. е.

Для предсказания рассмотренных технических характеристик в будущем, в частности на 2020 год, необходимо произвести расчеты по соответствующим полученным аппроксимирующим функциям с подстановкой в них переменной  $t = 9$ . Результаты расчетов отражены в соответствующем столбце таблицы 2.

Результаты прогнозирования потенциально достижимых уровней ТТХ средств разминирования сопоставляются с предъявляемыми требованиями к уровню ТТХ СПЗ (рис. 1). В случае соответствия указанных уровней формируются ТТТ к СПЗ в части касающейся требований по назначению. Они представляются в виде: тактических характеристик (параметров), обеспечивающих выполнение СПЗ задач по разминированию местности; технических характеристик (параметров) СПЗ, обеспечивающих выполнение возложенных на нее задач; вероятностно-временных и других характеристик и показателей, определяющих целевое использование СПЗ или показатели, значение которых по тактическим соображениям и экологической безопасности должны быть нормированы.

Что касается остальных ТТТ (рис. 1), то они формируются на основе нормативно-технических документов системы общих технических требований к видам вооружения и военной техники, государственных и отраслевых стандартов, результатов проведенных НИР (аванпроектов), новейших достижений науки и техники, опыта предыдущих разработок и эксплуатации существующих средств разминирования, а также руководящих документов заказчика [5, 6]. Сформированные ТТТ к СПЗ определяют ее облик и выражаются в виде ТТЗ на ОКР.

## 2. Результаты обоснования требований по назначению к СПЗ.

В соответствии с предложенным на рис. 1 подходом были проведены исследования по формированию требований по назначению к СПЗ. Результаты данных исследований представлены ниже, в том числе количественные характеристики в таблице 3 [7].

СПЗ предназначена для решения задач по разминированию местности. При выполнении указанных задач СПЗ должна обеспечить обнаружение взрывоопасных предметов (как промышленного, так и кустарного изготовления), находящихся в грунте или других укрывающих средах, корпуса или составные части которых изготовлены как из металла, так и из диэлектрика.

Частные задачи, решаемые СПЗ:  
 обнаружение заглубленных объектов;  
 измерение информативных параметров объектов (глубины установки, геометрических размеров в горизонтальной плоскости, толщины, интенсивности отраженного сигнала);  
 распознавание класса заглубленного объекта  
 Тип устройства – переносное с автономным источником электропитания (АКБ).  
 Область применения – грунт, другие однородные диэлектрические укрывающие среды.

Таблица 3 – Требования по назначению к СПЗ

Характеристика (параметр)	Значение
Тактические характеристики (параметры)	
Глубина обнаружения ВОП, см	
ППМ типа ПМН-2	до 27
ПТМ типа ТМ-62П	до 171
Продолжительность непрерывной работы от АКБ, часов	не менее 8-12
Производительность поиска, м <sup>2</sup> /ч: в положении лежа стоя	не менее 201 513
Расчет, человек	1
Время подготовки к работе (калибровка), минут	не более 10
Технические характеристики (параметры)	
Допустимый температурный диапазон работы, °С	от – 30 до + 40
Масса, кг	не более 5-7
Геометрические размеры	обеспечивающие удобство работы оператора, транспортировки и хранения
Время выдачи информации	в реальном масштабе времени
Электропитание	переносные АКБ 12В
Вероятностно-временные и другие характеристики (показатели)	
Вероятность правильного обнаружения ВОП, % (ППМ и ПТМ на тактической глубине боевого применения)	не менее 99,2
Количество ложных тревог на 1 обнаруженную мину	10 <sup>-3</sup>
Безопасное для оператора СВЧ излучение	не более 200 мВт

### Заключение

В статье предложен подход к обоснованию ТТТ к СПЗ на основе анализа предназначения, целей, задач, условий работы. Приведены результаты исследований по обоснованию требований по назначению к СПЗ на основе прогнозирования развития уровней ТТХ средств разминирования. Для прогнозирования использовался метод экстраполяции основанный на определении неизвестных параметров методом средних.

В качестве исходных данных для прогнозирования были выбраны основные ТТХ средств поиска заглубленных объектов оказывающие непосредственное влияние на выполнение задач по гуманитарному разминированию местности (таблица 1) начиная с 1940 по 2010 годы. Средства поиска заглубленных объектов сортировались по годам принятия на вооружение, из каждой группы выбирались наиболее эффективные образцы.

Результаты прогнозирования показывают, что продолжается повышение производительности поиска средств обнаружения заглубленных объектов по различным типам заглубленных объектов с одновременным увеличением глубины их поиска. При этом постепенно увеличивается вероятность обнаружения ВОП и уменьшается количество ложных срабатывания средств поиска на один обнаруженный объект. Так глубина обнаружения объектов по прогнозу вырастет до 171 см, а более простых объектов с меньшей глубиной залегания до 27 см с количеством ложных срабатываний, стремящихся к нулю и вероятностью

обнаружения ВОП стремящихся к единице (таблица 2), что позволит обнаруживать сложные объекты, а также неметаллические объекты в грунте. По мере развития науки и техники появилась возможность цифровой обработки принимаемых средствами обнаружения сигналов, что в перспективе позволит осуществлять классификацию типа ВОП и тем самым повысить их эффективность. Также можно сказать, что комплексирование различных методов поиска заглубленных объектов в одном устройстве обеспечит наилучшие показатели по вероятностям правильного обнаружения и ложных тревог на требуемой глубине, с минимальным увеличением энергопотребления и массогабаритных размеров.

Предложенный метод прогнозирования развития уровней тактико-технических характеристик может быть использован для оценки перспектив развития различных образцов техники. Результаты исследований по обоснованию требований по назначению к СПЗ могут быть положены в основу ТТЗ на проведение ОКР по разработке данной системы.

### Список источников

- [1] **Дикарев, В. И.** Методы и средства обнаружения объектов в укрывающих средах / В. И. Дикарев, В. А. Заренков, Д.В. Заренков; под ред. В.А. Заренкова – СПб.: Наука и Техника, 2004. – 280 с.
- [2] Вопросы подповерхностной радиолокации / А.Ю. Гринев [и др.]; под общ. ред. А.Ю. Гринева. – М.: Радиотехника, 2005. – 416 с.
- [3] Обоснование возможностей применения радиолокационного способа обнаружения взрывоопасных объектов на основе адаптивных методов обработки сигналов и экспериментальные исследования системы подповерхностного зондирования. Разработка рекомендаций по применению радиолокационного способа обнаружения взрывоопасных объектов (шифр «Грунт»): отчет о НИР (промежуточный) / ГУ «НИИ ВС РБ»; рук. темы С. А.Савенко. – Минск. 2013. – 148 с.4. Буренок, В.М. Теория и практика планирования и управления развитием вооружения / В. М. Буренок, В. М. Ляпунов, В. И. Мудров, под ред. А. М. Московского. – М., Изд. «Вооружение. Политика. Конверсия», 2004. – 419 с.
- [5] **Гейстер, С. Р.** Системное проектирование и расчет радиолокаторов противовоздушной обороны. Учебное пособие. Часть 1. – Минск: УО «ВА РБ», 1998. – 222 с.
- [6] Система разработки и постановки на производство оборонной продукции. Военная техника. Тактико-техническое (техническое) задание на выполнение опытно-конструкторских работ: СТБ В 15.201-2006. – Введ. 29.09.06. – Минск: НПРУП «Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации», 2006. – 26с.
- [7] **Гринкевич, А. В.** Прогнозирование характеристик перспективной корабельной радиотехнической системы методом экстраполяции / А.В. Гринкевич // Проблемы развития корабельного вооружения и бортового радиоэлектронного оборудования. – 2016. – N 3(8). – С. 11–14.
- [8] **Гринкевич, А. В.** Прогнозирование характеристик перспективных образцов радиотехники методом экстраполяции / А. В. Гринкевич // Доклады БГУИР. – 2016. – N 3(97). – С. 99-102.
- [9] Теория прогнозирования и принятия решений / Учеб. пособие. Под общ. ред. С. А.Саркисяна. – М., «Высшая школа», 1977. – 351 с.
- [10] **Жуков, С.** Современные средства противоминной войны / С. Жуков // Зарубежное военное обозрение. – 1997. – № 5. – С. 26–32.
- [11] **Daniels, D. J.**, Ground Penetrating Radar, ISBN 0863413609, IEE (Radar, Sonar and Navigation) 2004.
- [12] **Daniels, D. J.**, An Assessment of the fundamental performance of GPR against buried landmines, SPIE Detection and Remediation Technologies for Mines and Minelike Targets XII, Paper 6553-16, SPIE 2017, 13 April, 2016, Orlando, Florida.

**UDC 621.396.969.3**

**Prediction of requirements to the subsurface sensing system by extrapolation method (section "Information radio technologies")**

*N. N. Lavrinchik, A.A. Ivanova, Yang Myo Aung, Ye Yint Ko Ko*

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Scientific supervisor: Grinkevich A.V. – Ph.D. tech. Sciences, Associate Professor of the department.

IRT

**Annotation**

The article deals with the approach to substantiation of requirements to the subsurface sensing system on the basis of forecasting the development of means of searching for buried objects.

**Keywords:** Subsurface sensing, Buried objects, Extrapolation method.