

### Лабораторная работа №3

#### Определение оптимальных сроков технического обслуживания для предупреждения отказов

*Цель:* обработка данных об отказах судовой техники для определения оптимальных сроков технического обслуживания (ТО), при которых будет обеспечено предупреждение отказов.

Теоретическое обоснование: назначение сроков ТО ранее наступления отказа (т.е. с большим упреждением) неизбежно приводит к слишком раннему выполнению комплекса работ и, следовательно, к увеличению расходов на техническое обслуживание. Для оценки своевременности выполнения ТО полезным является сбор информации о наработках до неудовлетворительного состояния, т.е. такого, при котором механизм еще не отказал, но уже близок к этому. Таким образом, для выполнения работы необходим сбор следующей информации:

- о наработках до отказов:
- о наработках до неудовлетворительного состояния.

Для удобства дальнейшего использования данных о наработках до отказов и до неудовлетворительного состояния производится аппроксимация фактических данных каким-либо из известных законов распределения. При этом метод подбора указанных законов одинаков для распределения наработок до отказа и до неудовлетворительного состояния (см. рис. 3).

#### Порядок выполнения работы:

1. Определение необходимого объема выборки. Для установления закона распределения случайной величины выборка должна быть однородной и представительной.

Как правило, принимают объем выборки 15...80 объектов наблюдения. При планировании обычно пользуются формулой конкретного закона распределения (если он известен). Чаще используют данные эксплуатации, при этом порядок определения закона распределения и плотности распределения аналогичен рассмотренному в работе №2. В данном случае априорно принимается экспоненциальный закон распределения (задания выдаются преподавателем согласно списку группы, см. приложение 2.).

2. Определение оптимальных сроков технического обслуживания (ТО), при которых будет обеспечено предупреждение отказов.

Воспользовавшись статистическими данными эксплуатации, необходимо составить сводную ведомость всех отказов. Нарботка разбита на интервалы часов (7 – 20, количество и величина разрядов выбираются таким образом, чтобы можно было наиболее полно выявить характерные особенности случайной величины, при этом количество неудовлетворительных состояний и отказов в строке должно быть не меньше четырех). Члены выборки предварительно группируют в виде возрастающей последовательности (вариационного ряда). На основании статистической оценки частоты отказов в интервалах необходимо построить гистограмму распределения отказов и неудовлетворительных состояний по интервалам и определить вероятности отказов и неудовлетворительных состояний, плотность распределения отказов и неудовлетворительных состояний. Полученные данные занести в табл. 8.

3. По точкам строятся кривые распределения вероятностей  $\varphi_1(t)$ ,  $\varphi_2(t)$  и плотностей распределения  $f_{неуд.i}$  и  $f_i$  (см. рис. 3).

Координата времени берется по серединам интервалов. Время отсчитывается в тыс. ч. Сглаженные кривые являются наиболее достоверными, так как учитывают возможный разброс точек. Последние две строки таблицы представляют собой статистические ряды плотности распределения, по максимумам кривых определяется среднее время наработки на отказ и до неудовлетворительного состояния.

4. Среднюю наработку до первого отказа и до неудовлетворительного состояния, а также средние квадратические отклонения следует определить из графиков после проведения сглаживания полученных кривых по точкам (см. рис.3).

Таблица 8

Сводная ведомость отказов и неудовлетворительных состояний

Показатели распределения	Интервалы разбиения наработок до неудовлетворительного состояния и до отказа ( $k$ не менее 7...9)					
	$t_0 - t_1$	$t_2 - t_1$	$t_3 - t_2$	$t_4 - t_3$	...	$t_k - t_{k-1}$
$n_{неуд,i}$ (кол-во неудовлетворительных состояний на интервале)	$n_{неуд,1}$	$n_{неуд,2}$	...	...	...	$n_{неуд,k-1}$
$n$ (кол-во отказов на интервале)	$n_1$	$n_2$	...	...	...	$n_{k-1}$
$Q_{неуд,i} = n_{неуд,i} / N_{неуд}$ (вероятность неуд. состояния на данном интервале)	$Q_{неуд,1}$	$Q_{неуд,2}$	...	...	...	$Q_{неуд,k-1}$
$Q_{неуд,i+1} = \sum Q_{неуд,i} = \varphi_1(t)$ (закон распределения неуд. состояний)	$Q_{неуд,1}$	$Q_{неуд,1} +$ $Q_{неуд,2}$				
$Q_i = n_i / N$ (вероятность отказа на данном интервале)	$Q_1$	$Q_2$	...	...	...	$Q_{k-1}$
$Q_{i+1} = \sum_{i=1}^i Q_i = \varphi_2(t)$ (закон распределения отказов)	$Q_1$	$Q_1 + Q_2$				
$f_{неуд,i} = \Delta Q_{неуд,i} / (t_i - t_{i-1})$ (плотность распределения неудовлетворительных состояний)	$f_{неуд,1}$	$f_{неуд,2}$	...	...	...	$f_{неуд,k-1}$
$f_i = \Delta Q_i / (t_i - t_{i-1})$ (плотность распределения отказов)	$f_1$	$f_2$	...	...	...	$f_{k-1}$

здесь  $n_i$  - количество отказов в интервале времени  $(t_k - t_{k-1})$ ;  $N$  - количество всех отказавших изделий (соответственно  $n_{неуд,i}$  - количество неудовлетворительных состояний в интервале;  $N_{неуд}$  - количество всех неудовлетворительных состояний).

5. Используя кривые законов распределения, представленные на рис.3, определяют закон оптимального управления эксплуатацией дизелей по формуле

$$Q_{opt}(t) = Q_{неуд}(t) - Q_{отк}(t).$$

Для этого строится временная зависимость  $Q_{opt}(t)$ , из которой определяется оптимальное время наработки до проведения технических обслуживаний и ремонтов  $T_{opt}$  (см. рис.4).

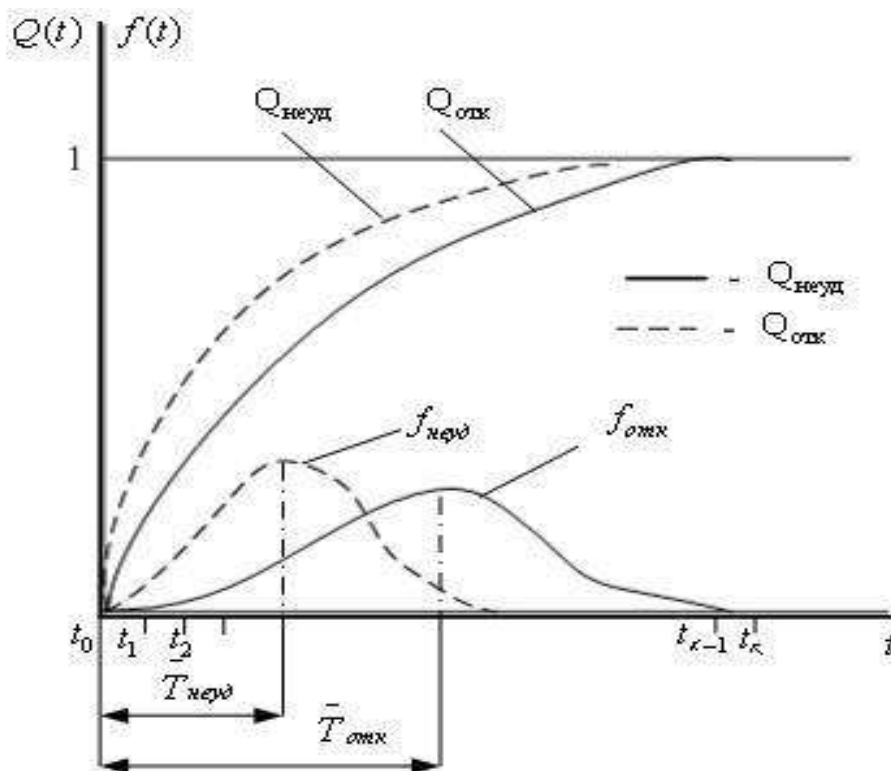


Рис.3. Зависимости законов распределения и плотностей распределения для наработки до неудовлетворительно состояния и до отказа, полученные путем сглаживания результатов обработки статистических данных эксплуатации

В эксплуатации достаточно часто возникают ситуации, когда неудовлетворительное состояние дизелей наступает раньше наработки на отказ, что приводит к большим экономическим потерям и снижению коэффициента технического использования техники. Поэтому раннее проведение технических обслуживаний и ремонтов способствует повышению качества эксплуатации.

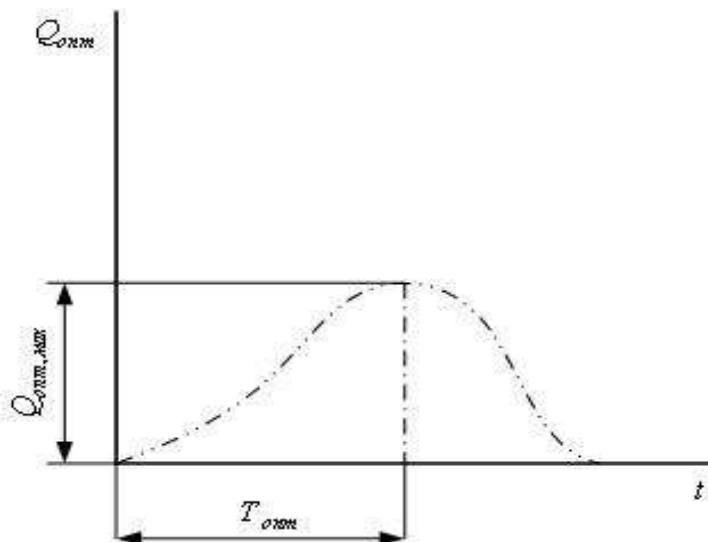


Рис.4. Определение оптимального времени наработки до проведения технического обслуживания и ремонта

#### Выводы по работе:

Оценка полученных результатов, предложения по их использованию в эксплуатации,

#### Содержание отчета:

Отчет должен содержать общие положения по поставленной задаче, исходные данные, расчетную таблицу и рисунки. Даются краткие пояснения по выполнению этапов работы.

#### Вопросы по теме:

1. Что понимается под наработкой до неудовлетворительного состояния?
2. Суть определения оптимального времени наработки до проведения технического обслуживания и ремонта;
3. Как быть, если время наработки на отказ меньше наработки до неудовлетворительного состояния?
4. Повлияет ли результаты случай, когда закон распределения не является экспоненциальным?
5. Следовало бы применить закон «три сигма» при обработке данных эксплуатации?

### Приложение

#### *Варианты заданий по расчету параметров законов распределения на основании результатов обработки данных отчетных документов по техническому обслуживанию*

##### *Вариант 1*

На основе анализа документации по учету результатов ТО ГТН VTR 300 были установлены следующие результаты технического состояния подшипников.

1. Всего под наблюдением находилось 50 объектов.

2. Из общего количества полученных результатов установлено, что объекты отказали при следующих наработках: 11948, 11988, 11674, 10818, 11698, 10624, 11254, 11814.

3. Из общего количества полученных результатов установлено, что неудовлетворительное состояние объектов было обнаружено при следующих наработках: 10219, 12031, 7942, 11119, 11871, 11445, 9710, 10647, 10881, 10507, 10430, 10008, 10912, 11975.

### *Вариант 2*

На основе анализа документации по учету результатов ТО рамовых подшипников вспомогательных дизелей VD26/20 были установлены следующие результаты технического состояния подшипников.

1. Всего под наблюдением находилось 80 объектов.

2. Из общего количества полученных результатов установлено, что объекты отказали при следующих наработках: 15464, 26680,23915, 18108,26254, 20127, 20625, 25334, 17929, 24841, 20074, 23764, 16041, 24491, 18934, 27157, 25167, 14957, 23554, 27555, 19609, 17235, 15358, 22307,26176,15636, 15112, 22281, 16532.

3. Из общего количества полученных результатов установлено, что неудовлетворительное состояние объектов было обнаружено при следующих наработках: 13301, 11903, 11004, 13771, 14322, 12004, 12625, 13276, 12828, 14742, 15914, 10459, 15643, 13901, 14845.

### *Вариант 3*

На основе анализа документации по учету результатов ТО шатунных подшипников дизелей 2V40/48 были установлены следующие результаты технического состояния подшипников.

1. Всего под наблюдением находилось 80 объектов.

2. Из общего количества полученных результатов установлено, что объекты отказали при следующих наработках: 14570, 20432,28341, 20175,24381, 19313, 21490, 20018, 20322, 21240, 20055, 22132, 22375, 24119, 16909, 17567, 16081, 23481, 22828, 21864, 16621, 25687.

3. Из общего количества полученных результатов установлено, что неудовлетворительное состояние объектов было обнаружено при следующих наработках: 17847, 18218, 14620, 17050, 14279, 9986, 13376, 14796, 19055, 16039, 15938, 15782, 18113, 16286, 11812,18738, 18221, 14893, 16783, 13019, 13275, 16793, 17721, 18448, 11785, 13526, 13134, 14251, 18117, 17871, 16849.

### *Вариант 4*

На основе анализа документации по учету результатов ТО поршневой группы дизелей NVD24 были установлены следующие результаты технического состояния поршневых колец.

1. Всего под наблюдением находилось 80 объектов.

2. Из общего количества полученных результатов установлено, что объекты отказали при следующих наработках: 6374, 7222, 7225, 7761, 7262, 6046, 6779, 7406, 6521, 7854, 6951, 6505, 7986.

3. Из общего количества полученных результатов установлено, что неудовлетворительное состояние объектов было обнаружено при следующих наработках: 5311, 4411, 5979, 4295, 5959, 5211, 4422, 5815, 5008, 5201, 5233, 5600, 5345,5262, 5514, 5666, 5835, 5629, 5871, 5720, 5655, 5640.

### *Вариант 5*

На основе анализа документации по учету результатов ТО ГТН VTR 250 были установлены следующие результаты технического состояния подшипников.

1. Всего под наблюдением находилось 80 объектов.

2. Из общего количества полученных результатов установлено, что объекты отказали при следующих наработках: 12871, 15892, 15605, 15566, 15979, 14464, 15798, 14357, 15370, 14368, 14907, 15237, 15817, 11299, 13879, 15099, 15279, 15292.

3. Из общего количества полученных результатов установлено, что неудовлетворительное состояние объектов было обнаружено при следующих наработках: 12153, 11074, 13768, 11294, 12723, 11779, 12280, 11963, 12257, 13595, 11020, 10881, 10179, 13339, 11192, 10138, 12255,

10348, 12774, 12028, 11858, 11036, 10286, 12165, 13236, 10485, 12771, 10885, 13382, 10570, 12234, 11856, 12468, 11896, 12841.

#### *Вариант 6*

На основе анализа документации по учету результатов ТО поршневой группы дизелей AL24 были установлены следующие результаты технического состояния поршневых колец.

1. Всего под наблюдением находилось 80 объектов.
2. Из общего количества полученных результатов установлено, что объекты отказали при следующих наработках: 5991, 6938, 7851, 8670, 8628, 5440, 5189, 6853, 5602, 7805, 7153, 5581.
3. Из общего количества полученных результатов установлено, что неудовлетворительное состояние объектов было обнаружено при следующих наработках: 7627, 7678, 6430, 4036, 6360, 8732, 7619, 5899, 4237, 7952, 5637, 7782, 7157, 8025, 6551, 7655, 7436, 7012, 6925, 7311, 6725, 7593, 7778.

#### *Вариант 7*

На основе анализа документации по учету результатов ТО подшипников коленчатого вала NVD24 были установлены следующие результаты технического состояния рамовых подшипников,

1. Всего под наблюдением находилось 80 объектов.
2. Из общего количества полученных результатов установлено, что объекты отказали при следующих наработках: 12737, 11910, 14564, 9379, 14037, 14213, 13559, 12926, 13049, 13925, 10004, 13018, 14361, 13413, 14475, 11181, 7502, 12246, 14303, 12786, 14854, 12631.
3. Из общего количества полученных результатов установлено, что неудовлетворительное состояние объектов было обнаружено при следующих наработках: 8998, 11825, 8698, 7805, 10510, 10194, 7387, 10939, 11102, 8420, 9280, 9727, 9332, 7118, 10923, 11365, 10404, 11613, 10786, 9870, 10680, 11231, 7431, 8804, 10483, 10776, 10005, 14851, 9548, 5387.

#### *Вариант 8*

На основе анализа документации по учету результатов ТО шатунов VD26 установлено, что они меняют геометрию нижней головки, а также были зафиксированы следующие результаты технического состояния геометрии расточки под мотылевый подшипник.

1. Всего под наблюдением находилось 80 объектов.
2. Из общего количества полученных результатов установлено, что объекты отказали при следующих наработках: 19433, 11041, 16571, 14332, 19376, 17587, 18446, 13311, 17894, 14006, 17184, 18730, 15174, 19010.
3. Из общего количества полученных результатов установлено, что неудовлетворительное состояние объектов было обнаружено при следующих наработках: 9567, 15785, 13702, 14315, 15172, 13994, 15071, 13525, 16034, 11380, 15898, 15053.

#### *Вариант 9*

На основе анализа документации по учету результатов ТО поршневой группы VD26 были установлены следующие результаты технического состояния поршневых пальцев.

1. Всего под наблюдением находилось 80 объектов.
2. Из общего количества полученных результатов установлено, что объекты отказали при следующих наработках: 36040, 35137, 34582, 37362, 36323, 31157, 28904, 38414, 39227, 32198, 36324, 31372, 36722, 30613, 34149, 36328, 37323, 25169, 34649, 47984, 39233, 36172, 33219.
3. Из общего количества полученных результатов установлено, что неудовлетворительное состояние объектов было обнаружено при следующих наработках:

25628, 30172, 27764, 29790, 29830, 29141, 28526, 27813, 23361, 18550, 28913, 27551, 30325, 29535, 24869, 25443, 27034, 25562, 25473.

#### *Вариант 10*

На основе анализа документации по учету результатов ТО поршневой группы RTA58 были установлены следующие результаты технического состояния поршневых колец.

1. Всего под наблюдением находилось 80 объектов.
2. Из общего количества полученных результатов установлено, что объекты отказали при следующих наработках: 6629, 12143, 12747, 12805, 11568, 4714, 10380, 6212, 10974, 11249, 11593, 9366, 9212, 9197, 7497.
3. Из общего количества полученных результатов установлено, что неудовлетворительное состояние объектов было обнаружено при следующих наработках: 5541, 5248, 5648, 7015, 10358, 4289, 5953, 7530, 7973, 7282, 9144, 8724, 4542, 4709, 9213, 10966, 6525, 7334, 6407, 4562, 8152, 8571, 4611, 9083, 5249, 8004, 6771, 6868, 8235, 6093.

#### *Вариант 11*

На основе анализа документации по учету результатов контрольных обжимов фундаментных болтов дизеля MC50 были установлены следующие результаты затяга болтов.

1. Всего под наблюдением находилось 80 объектов,
2. Из общего количества полученных результатов установлено, что болты оказались затянуты менее чем на 90% при следующих наработках: 9806, 10107, 10769, 9113, 10515, 11017, 10095, 7058, 11853, 14554, 10761, 9320, 9736, 10532, 10597, 9716, 10268, 8033, 8246.
3. Из общего количества полученных результатов установлено, что было обнаружено уменьшение затяга менее чем на 10% при следующих наработках: 7057, 6919, 7349, 6932, 6916, 5279, 6305, 6003, 6487, 6207, 7994, 6525, 6998, 5662, 6097, 7509, 6378, 6564, 7001, 6520, 6243, 5714, 5631, 7184.

#### *Вариант 12*

На основе анализа документации по учету результатов ТО ГТН дизеля AL24 были установлены следующие результаты технического состояния лабиринтовых уплотнений.

1. Всего под наблюдением находилось 80 объектов.
2. Из общего количества полученных результатов установлено, что объекты отказали при следующих наработках: 23131, 19619, 20959, 22401, 15745, 16183, 17263, 13531, 18464, 17896, 20301, 16588, 18949, 19772.
3. Из общего количества полученных результатов установлено, что было обнаружено неудовлетворительное состояние объектов при следующих наработках: 20440, 14863, 20020, 20332, 17191, 20002, 19582, 20545, 13344, 16563, 19412, 15398, 14010, 17758, 18996, 19025, 19943, 20568, 20120, 20118, 15892, 19153, 17101.

#### *Вариант 13*

На основе анализа документации по учету результатов контрольного обжима фундаментных болтов дизеля RTA58 было установлено следующее.

1. Всего под наблюдением находилось 80 объектов.
2. Из общего количества полученных результатов установлено, что болты оказались затянуты менее чем на 90% от первоначального состояния при следующих наработках: 14877, 16169, 10226, 16877, 10941, 14994, 14812, 16827, 13544, 9669, 16178, 14202, 15861, 16281, 5162, 15352, 10475.
3. Из общего количества полученных результатов установлено, что неудовлетворительное состояние объектов было обнаружено при следующих наработках: 7723, 13337, 11992, 10545, 14658, 14908, 14099, 9366, 15307, 13773, 16231, 12248, 12966, 14383, 15120, 15505, 10185, 13446, 13618, 10451, 11901.

*Вариант 14*

На основе анализа документации по учету результатов ТО головных подшипников РТА58 были установлены следующие результаты технического состояния подшипников.

1. Всего под наблюдением находилось 80 объектов.
2. Из общего количества полученных результатов установлено, что объекты отказали при следующих наработках: 23631, 20861, 23920, 23609, 20144, 24164, 24481.
3. Из общего количества полученных результатов установлено, что неудовлетворительное состояние объектов было обнаружено при следующих наработках: 22160, 23026, 21226, 19157, 22310, 17386, 23968, 22576, 25947, 24498, 23980, 19796, 21092, 19887, 21320, 23713, 22301, 23864, 24196, 18741, 20395, 25814, 19713, 18171.

*Вариант 15*

На основе анализа документации по учету результатов ТО форсунок дизеля МС80 были установлены следующие результаты технического состояния распылителей.

1. Всего под наблюдением находилось 80 объектов.
2. Из общего количества полученных результатов установлено, что объекты отказали при следующих наработках: 3218, 2877, 3196, 3283, 2863, 3154, 2654, 3286, 3366, 2848, 3004, 3312, 3502, 4313, 3135, 3310, 3418, 3225, 3406, 3021, 2996, 3059, 3284, 3065, 3465.
3. Из общего количества полученных результатов установлено, что неудовлетворительное состояние объектов было обнаружено при следующих наработках: 2550, 2380, 2349, 2467, 2519, 3235, 2146, 2224, 2214, 2431, 2263, 2189, 2307, 2465, 2255, 2155, 2502, 2208, 2300, 2095.

*Вариант 16*

На основе анализа документации по учету результатов ТО пусковых клапанов дизеля МС35 были установлены следующие результаты их состояния.

1. Всего под наблюдением находилось 80 объектов.
2. Из общего количества полученных результатов установлено, что объекты отказали при следующих наработках: 8933, 7252, 6152, 8863, 9796, 9778, 7942, 8415, 5518, 7406, 8038, 7933, 9491, 9429, 7527, 9739,
3. Из общего количества полученных результатов установлено, что неудовлетворительное состояние объектов было обнаружено при следующих наработках: 7237, 4751, 7557, 4437, 8976, 7063, 5969, 6634, 7489, 4836, 7727, 7874, 6408, 3156, 7146, 8635, 4648, 7713, 5658, 8725, 7227, 5655, 5415, 5507, 7025, 6607, 4580, 6637, 7526, 6814, 6010, 6070, 3966, 5453, 6723.

*Вариант 17*

На основе анализа документации по учету результатов ТО центробежного насоса охлаждающей забортной воды НЦВ 300 были установлены следующие результаты технического состояния уплотнительных колец крылатки.

1. Всего под наблюдением находилось 80 объектов.
2. Из общего количества полученных результатов установлено, что объекты отказали при следующих наработках: 7516, 6677, 5056, 5528, 5678, 8715, 7728, 4707, 7221, 8825, 9540, 7965, 6689, 7828, 5115, 8446, 6902, 7321, 6824, 5559, 8459, 8154, 8695, 8628, 8768.
3. Из общего количества полученных результатов установлено, что неудовлетворительное состояние объектов было обнаружено при следующих наработках: 6258, 8154, 4663, 9421, 8231, 5541, 8429, 6310, 7913, 4796, 6943, 9757, 7144, 7392, 5799, 8406, 8117, 5069, 6212, 5742, 7319, 6407, 8319, 7512, 5335, 3732, 5224, 5641, 4880, 15730, 6326, 3320.

*Вариант 18*

На основе анализа документации по учету результатов ТО компрессора пускового воздуха были установлены следующие результаты технического состояния клапанов 1- и 2-й ступени.



1. Всего под наблюдением находилось 80 объектов.

2. Из общего количества полученных результатов установлено, что объекты отказали при следующих наработках: 904, 910, 834, 578, 806, 453, 659, 896, 987, 849, 707, 1081, 824, 956, 964.

3. Из общего количества полученных результатов установлено, что неудовлетворительное состояние объектов было обнаружено при следующих наработках: 612, 613, 654, 741, 539, 572, 540, 492, 453, 320, 736, 488, 635, 612, 526, 273, 439, 502, 592, 634, 648, 530.