

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

Носков С.В., Чичугин В.А.

ОАО Уралтрансгаз, г. Екатеринбург

Приведены результаты численного моделирования режимов технического обслуживания газоперекачивающих агрегатов. Показано, что техническое обслуживание целесообразно только при малых значениях продолжительности межпрофилактического периода. Если эти значения больше критического, то профилактика нецелесообразна, так как приводит к уменьшению коэффициента использования агрегата.

Рассмотрим компрессорную станцию, на которой работает 1 ремонтная бригада. На очередь, в которую становятся на ремонт газоперекачивающих агрегатов (ГПА), не наложено никаких ограничений. В данном случае КС представляет собой систему массового обслуживания (СМО) с неограниченной очередью. На эту СМО поступает поток заявок с интенсивностью λ , поток обслуживания простейший и имеет интенсивность μ . Определим предельные вероятности состояний системы и характеристики эффективности работы. Теоретически число состояний неограничено, однако если интенсивность потока заявок будет совпадать с интенсивностью потока обслуживания либо больше ее, то СМО не сможет работать из-за неограниченного возрастания очереди [1,2].

Состояние системы можно представить следующим образом:

S_0 – канал свободен;

S_1 – канал занят, очереди нет;

S_2 - канал занят, одна заявка в очереди;

.....

S_n - канал занят, n-1 заявка в очереди, и так далее.

Допустим, на ремонт в течение пяти суток поступает 1 ГПА (0,008 ед/час), время его обслуживания колеблется в пределах 65 - 180 ч. С помощью программы вычисляем вероятности состояний системы. Изменяя время обслуживания, приходим к выводу, что число заявок в очереди меняется незначительно, и только при значении 200 ч ряд расходится.

При среднем времени обслуживания 90 ч имеем:

$$P_0 = 0,2800; P_1 = 0,2000; P_2 = 0,1500;$$

$$P_3 = 0,1000; P_4 = 0,0750; P_5 = 0,0540 \text{ и т.д.}$$

Среднее число ГПА, находящихся в очереди $r_0 = 1,85$, при времени ожидания обслуживания 231 ч. При этом вероятность отказа составляет 0,2.

Зафиксируем интенсивность поступления 0,01 заявок в час (1 ГПА за четверо суток). Заметим, что через 90 часов число заявок в очереди резко увеличивается и затем неограниченно начинает расти.

Анализируя графики, построенные при интенсивности поступления на ремонт 0,008 ед/час, 0,01 ед/час, 0,012 ед/час, можно сделать вывод о том, что число заявок, стоящих в очереди зависит как от времени, необходимого на ремонт ГПА, так и от интенсивности поступления требований (рис. 1).

При интенсивности 0,008 ед/час график пологий, это означает, что число заявок сильно не меняется. При интенсивности 0,012 ед/час кривая, достигнув значения 75 ч, резко начинает возрастать.

Заметим, что вероятности отказов меняются в любом из трех случаев незначительно, так как очередь неограниченна, а заявки будут удовлетворены в любом случае. Количество времени нахождения в системе принимает довольно большие значения. Это значит, что ГПА простаивают, а следовательно промышленное предприятие терпит убыток за каждые сутки простоя ГПА

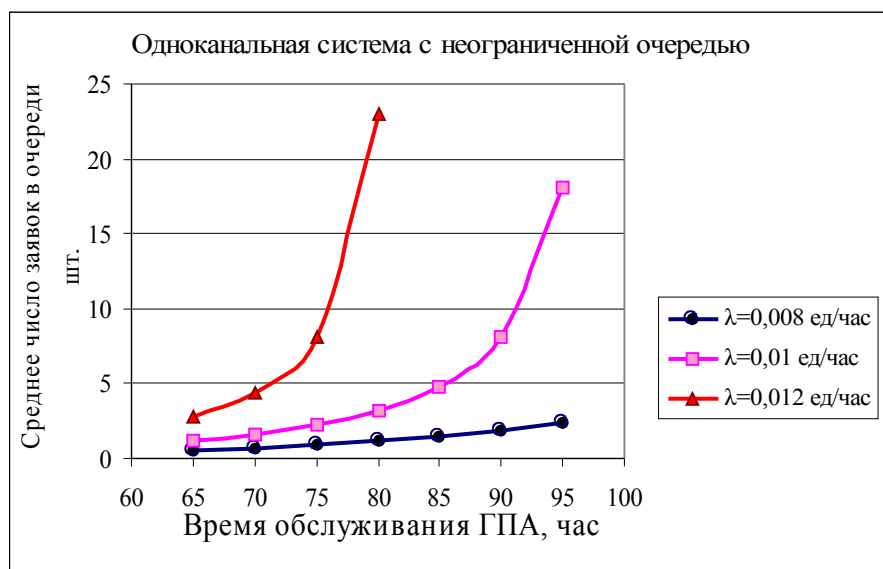


Рисунок 1. График зависимости среднего числа заявок в очереди от времени обслуживания ГПА

Рассмотрим графики зависимости среднего времени ожидания в очереди от интенсивности поступающих заявок.

Найдем оптимальное время при интенсивности 0,009 ед/час.

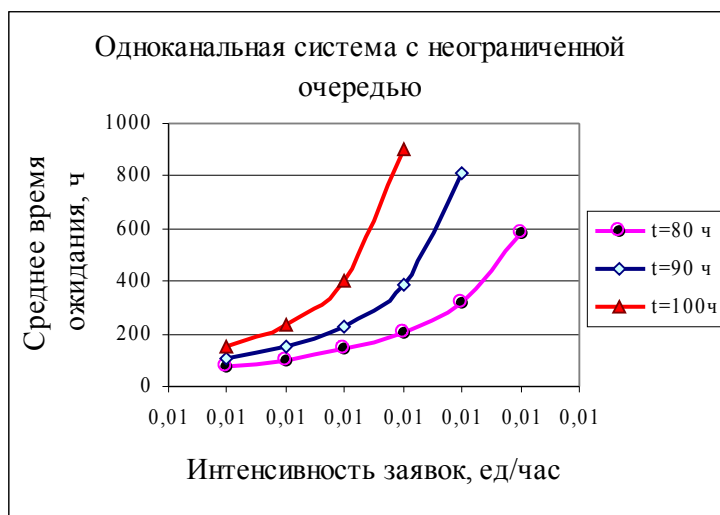


Рисунок 2. График зависимости среднего времени ожидания от интенсивности заявок

Следует заметить, что на рис. 2 при $t = 80$ ч этому значению, соответствует время ожидания 200 ч. Соответственно при $t = 90$ ч значение – 400 ч, при $t = 100$ – 900 ч. Сделаем вывод, что при интенсивности заявок на ремонт 0,009 ед/час, минимальным временем ожидания будет 200 часов.

Рассмотрим другой случай. Пусть в СМО n ремонтных бригад и m мест в очереди. Заявка на ремонт ГПА, пришедшая в СМО, когда все места в очереди заняты, получает отказ. Рассмотрим такую характеристику работы, как вероятность отказа пришедшей заявке.

Состояние системы:

S_0 – в СМО нет заявок;

S_1 – в СМО одна заявка;

.....

S_n - в СМО n заявок;

S_{n+1} - в СМО n заявок в обслуживании и заявка в очереди;

.....

S_{n+m} - в СМО n заявок в обслуживании и m заявок в очереди;

Допустим на производственном объединении 100 ГПА и 5 бригад, занимающихся ремонтом. Поток ГПА, поступающих на ремонт, простейший с интенсивностью 0,05 ед/час, т.е. приблизительно 1 ГПА за сутки. Время ожидания ГПА подчиняется показательному закону и максимальное количество ГПА, находящихся в очереди, 7 единиц. Время обслуживания 1 заявки составляет 65-100 ч. С помощью программы вычислим вероятности состояний СМО при времени обслуживания 65 ч: $P_0=0,0410$; $P_1=0,1300$; $P_2=0,2100$; $P_3=0,2300$; $P_4=0,1900$; $P_5=0,1200$; $P_6=0,0800$; $P_7=0,0520$; $P_8=0,0340$; $P_9=0,0220$; $P_{10}=0,0140$; $P_{11}=0,0093$; $P_{12}=0,0060$. Из расчетов видно, что ГПА почти не простаивает ($P_0=0,0410$).

Заметим, что 17 % всех ГПА, поступивших на ремонт, будут обслужены без очереди: $(p_0 + p_1) \cdot 100\% = (0,0410 + 0,13) \cdot 100\% = 17,1\%$. Вероятность отказа в ремонте $P_{отк} = p_{12} = 0,006$. Поэтому только 0,6 % ГПА не будут обслужены. Относительная и абсолютная пропускные способности соответственно равны $Q = 1 - p_6 = 1 - 0,006 = 0,994$, $A = Q \cdot \lambda = 0,0497$ ед/час.

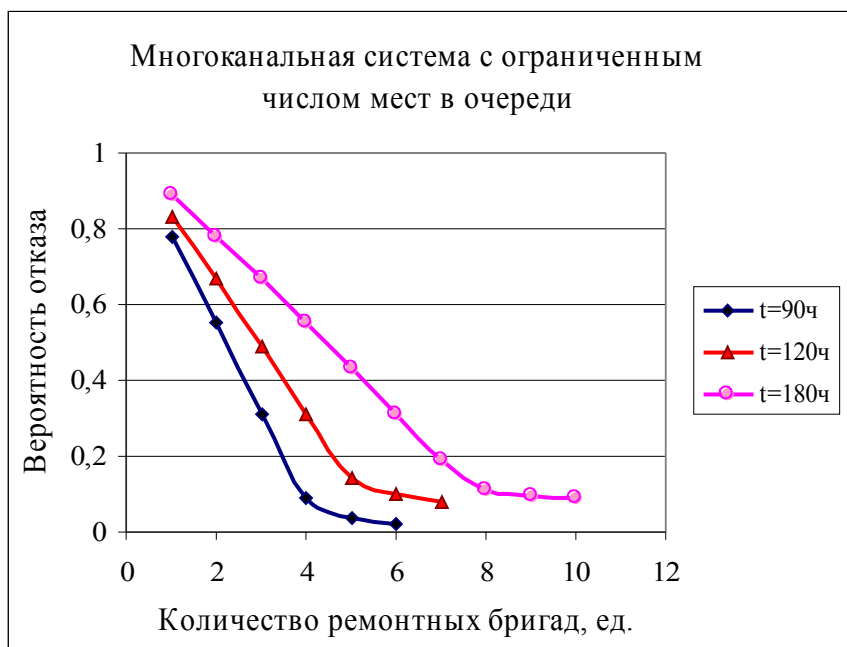


Рисунок 3. График зависимости вероятности отказа от количества ремонтных бригад

Среднее число занятых каналов 3, что свидетельствует о небольшой загрузке ремонтных бригад. Анализ результатов расчета показывает, что 5 % ГПА, попавших на ремонт, будут обслужены достаточно быстро (остальные становятся в очередь). Для оптимизации данной задачи можно увеличить количество числа ремонтных бригад, обслуживающих ГПА.

Рассмотрим график зависимости вероятности отказа от количества ремонтных бригад при времени обслуживания $t = 90$ ч, $t = 120$ ч, $t = 180$ ч. Значения, превышающие 180 часов, рассматривать нецелесообразно, так как редко требуется больше времени для ремонта ГПА. Очевидно, что при больших затратах на ремонт, высока вероятность получить отказ из-за занятости всех мест в очереди. В данном случае необходимо привлечение дополнительных людских ресурсов. Как видно на рис. 3, когда число ремонтных бригад превышает количество мест в очереди, вероятность отказа принимает значения в пределах $[0;1]$. Однако, обслуживание ГПА в данном случае оптимальным не будет.

Анализируя зависимости, приходим к выводу, что при одном и том же количестве ремонтных бригад, равном 6, вероятность отказа при времени обслуживания 90 ч меньше, чем при 120 ч.

Теперь рассмотрим зависимость времени обслуживания от количества ремонтных бригад при постоянной интенсивности поступления заявок.

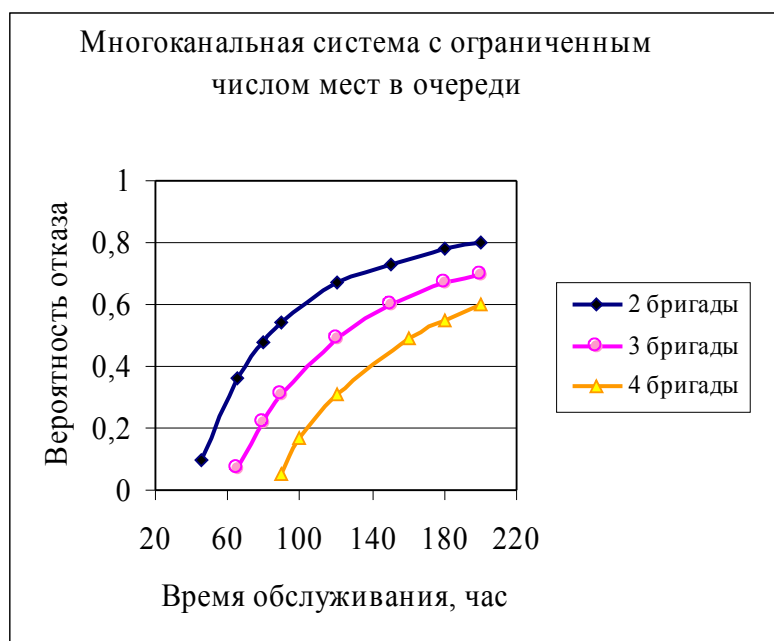


Рисунок 4. График зависимости вероятности отказа от времени обслуживания

Очевидно, что чем меньше количество бригад, занимающихся ремонтом, тем больше у них загруженность и соответственно большее количество ГПА станут в очередь или получают отказ. При обслуживании ГПА за 120 часов двумя бригадами вероятность отказа составляет $\approx 0,7$. Если ремонтом занимается 4 бригады, то вероятность отказа – 0,3.

Таким образом, зная время, необходимое для обслуживания ГПА, количество ремонтных бригад и зная интенсивность поступления заявок, с помощью данной программы можно планировать количество бригад. Однако в данном случае не принимается во внимание денежный фактор, т.е. расходы на содержание ремонтных бригад и убытки за простой ГПА, которые будут рассмотрены в следующем методе моделирования режимов ТО и Р ГПА.

Оптимизация режима обслуживания при стратегии наработки на отказ. Данные эксплуатации ГПА показывают, что сроки между капитальными ремонтами и между текущими ремонтами не выдерживаются, а продолжительность межремонтных периодов находится в широком интервале.

Пусть в начальный момент времени согласно плану проведения ремонтных работ предусматривается проводить плановые ТО и Р через случайное время. Если к этому времени ГПА не отказал, то проводят плановый ТО и Р. Если же к назначенному моменту ГПА отказал, то проводят обычный ТО и Р.

В данной задаче определим оптимальную периодичность технического обслуживания. Также целесообразно будет рассматривать показатели, выражающие стоимостные потери и прибыли, получаемые при проведении аварийных и профилактических работ.

Для составления плана-графика работ ремонтных бригад и для оценки эффективности организации ремонтных работ необходимо располагать следующей входной информацией:

1. Параметры закона $P(t) = \exp\left(-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right)$ распределения отказов оборудования: a и b .
2. Продолжительности плановых и аварийных профилактик $T_{\text{пл}}$ и $T_{\text{ав}}$ соответственно.

3. Стоимости плановых и аварийных профилактик $C_{\text{пл}}$ и $C_{\text{ав}}$ соответственно.

4. Средняя удельная прибыль C_0 , получаемая при работе системы в единицу времени.

На ниже представленных рис. 5 - 8 показано влияние продолжительности аварийных и плановых ремонтов, планируемой прибыли на периодичность технического обслуживания.

Наряду со значениями стоимости профилактического ($C_{\text{пр}} = 20$ тыс. руб/сут) и аварийного ремонта ($C_{\text{ав}} = 30$ тыс. руб/сут), величины прибыли ($C_0 = 1000$ тыс. руб/сут) в данном примере фиксируется время проведения аварийных ремонтов и рассматривается результат для трех случаев $T_{\text{ав}} = 4$, $T_{\text{ав}} = 5$, $T_{\text{ав}} = 6$ (сут) при параметрах показательного распределения $a = 375$, $b = 1,5$.

Как видно на рис. 5, при увеличении продолжительности профилактического ремонта, увеличивается период между ТО ГПА. Причем очевидна зависимость продолжительности технического обслуживания от продолжительности аварийных работ: чем меньше $T_{\text{ав}}$, тем график более чувствителен к изменению $T_{\text{пр}}$. Например, продолжительность профилактического ремонта ГПА составляет 2 сут. При этом значению $T_{\text{ав}} = 4$ сут будет соответствовать оптимальное время между ТО $T_0 = 230$ ч, значению $T_{\text{ав}} = 5$ сут — $T_0 = 160$ ч, $T_{\text{ав}} = 6$ сут — $T_0 = 130$ ч.

Зная продолжительность аварийного ремонта и фиксируя определенные значения профилактического ремонта, также можно планировать периодичность ТО. Данная зависимость обратно пропорциональна зависимости T_0 от $T_{\text{пр}}$ ($C_{\text{пр}} = 20$ тыс. руб/сут, $C_{\text{ав}} = 30$ тыс. руб/сут, $C_0 = 1000$ тыс. руб/сут).

Зависимости, представленные на рис. 5 и 6 не дают возможности определить: следует ли проводить именно капитальный ремонт, средний или текущий. Определяется только необходимость проведения плановой профилактики, которая сможет предотвратить аварийную остановку и восстановить техническое состояние ненадежно работающего узла. Анализ показывает:

- оптимальная продолжительность межпрофилактического периода определяется продолжительностью профилактики и аварийного ремонта;

– профилактика целесообразна только при малых значениях продолжительности межпрофилактического периода. Если эти значения больше критического (отношение среднего времени проведения профилактического ремонта к среднему времени проведения аварийного ремонта), то профилактика нецелесообразна, так как приводит к уменьшению коэффициента использования агрегата, а следовательно, к сокращению его эксплуатационного времени.

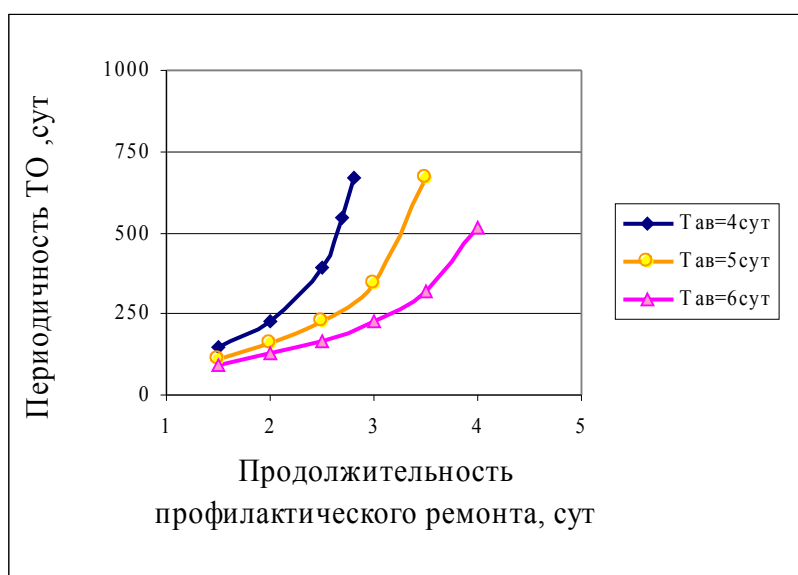


Рисунок 5. График зависимости периодичности ТО от продолжительности профилактического ремонта

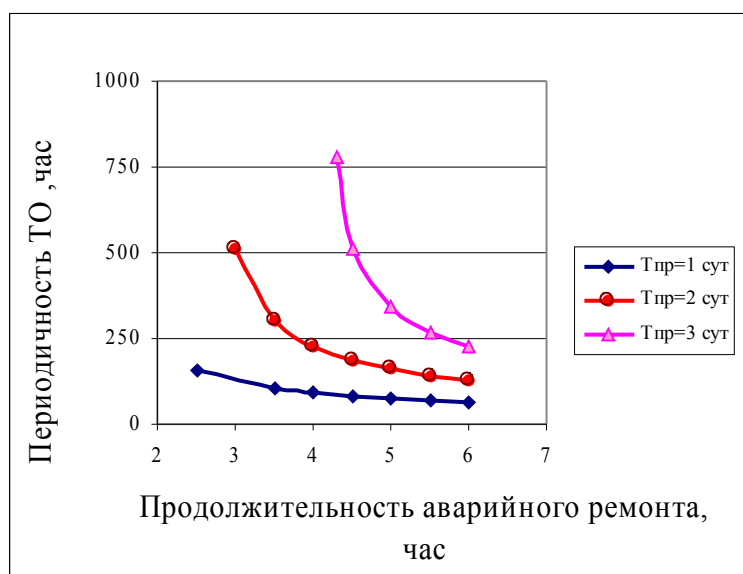


Рисунок 6. График зависимости периодичности ТО от продолжительности аварийного ремонта

При планировании прибыли необходимо учитывать затраты, связанные с ремонтами. В данном случае зависимость периодичности мало чувствительная к изменению прибыли (C_0): при изменении C_0 в пределах от 500 тыс. до 1500 тыс. руб, T_0 принимает значения 220 - 228 час. В принципе существенной роли потери из-за простоя ГПА за 1- 2 суток не играют по сравнению с прибылью, которую предприятие получает за месяц.

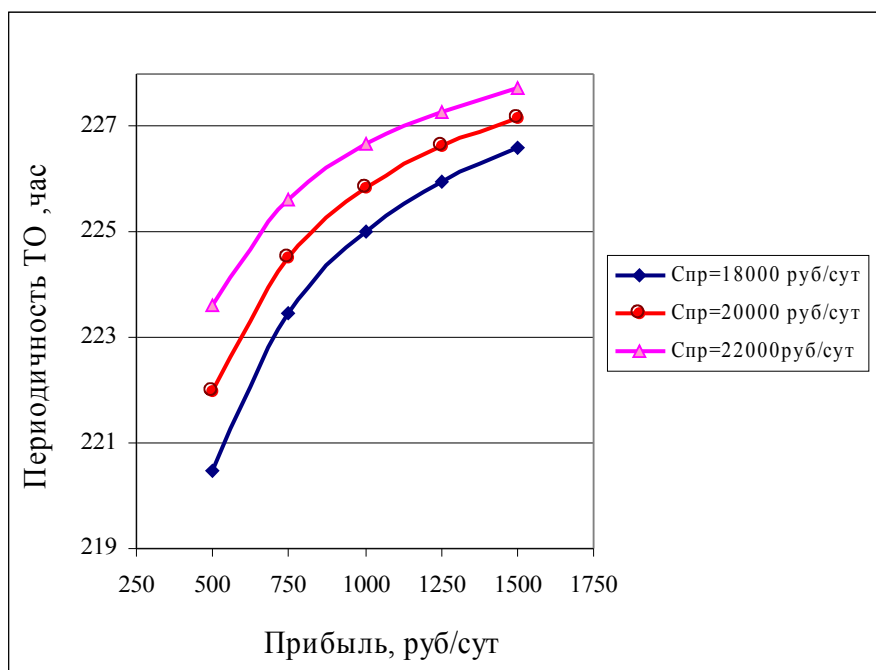


Рисунок 7. График зависимости периодичности ТО от прибыли

Допустим планируется за сутки получать прибыль 1500 тыс. руб при $C_{ав} = 30$ тыс. руб. Так при минимизации затрат на профилактический ремонт ($C_{пр} = 18$ тыс. руб/сут) оптимальное время периодичности ТО исходя из расчетов и согласно графику должно составлять 226,6 сут (рис. 7).

Составление графиков ремонтов ГПА. На рис. 8 получены вероятности выработки ресурсов, а, следовательно, вероятности выхода в ремонт оборудования. Для расчетов используется, согласно ранее рассмотренной методике, совокупность месячных наработок ГПА, которые подчинены нормальному закону распределения. Очевидно, что чем больше остаток межремонтного ресурса, тем меньше будет вероятность выхода ГПА в ремонт. Таким образом, зная общую наработку каждого ГПА и остаток его

межремонтного ресурса, можно составить план ремонтов оборудования в определенный месяц планируемого периода.

Межремонтный ресурс для 1-3 ГПА составляет 290 сут, для остальных – 350 сут. Как видно из графиков к 10 месяцу работы большая вероятность отказа у 1 ГПА, меньшая – у 5 ГПА. Анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы. Так как вероятность выработки ресурсов 1 ГПА составляет 75 %, 2 ГПА – 63 %, 3 ГПА - 73 %, 4 ГПА – 64 %, 5 ГПА – 58 %, 6 ГПА – 69 %, скорее всего, в первую очередь надо будет обслуживать 1 ГПА или 3 ГПА.

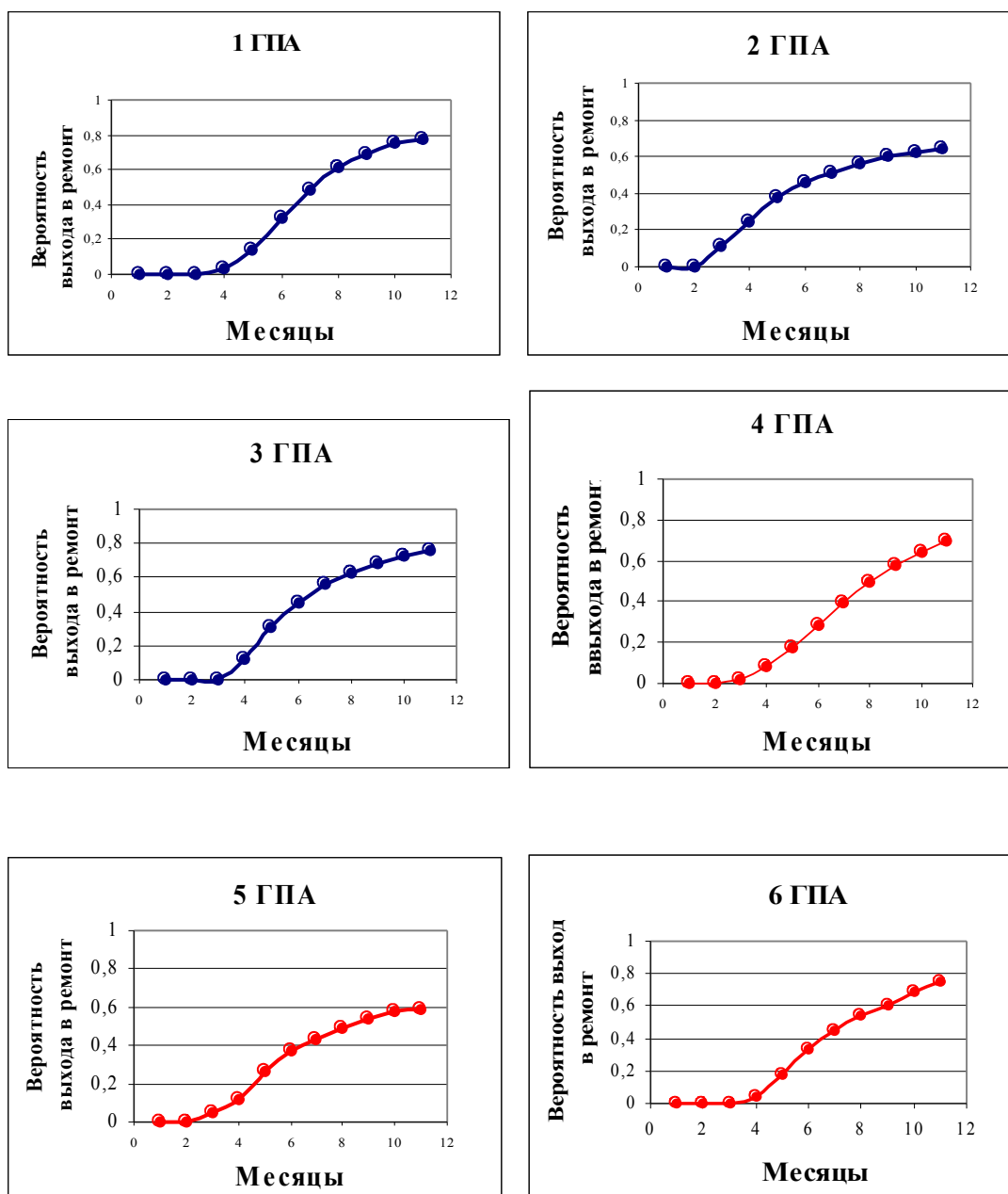


Рисунок 8. Графики вероятностей выхода в ремонт в течение 12 месяцев 6 ГПА

Для того, чтобы составить план ремонтов для остальных ГПА необходимо анализировать следующий отрезок планируемого периода. На практике же ввиду большого количества ГПА обследуемые агрегаты группируются в зависимости по ряду факторов и обработку статистических данных о надежности на КС парка ГПА проводят дифференцированно по каждой группе однотипных агрегатов. Таким образом, для дальнейшей разработки данного метода планирования ремонтов необходима систематизация большого количества эксплуатационных данных.

Литература

1. Ревзин Б.С. Газотурбинные газоперекачивающие агрегаты. М.: Недра, 1986, 215 с.
2. Бармин С.Ф. Компрессорные станции с газотурбинным приводом. Л.: Недра, 1968, 278 с.