

**УПРАВЛЕНИЕ ЗАПАСАМИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ,  
ПРЕДОСТАВЛЯЮЩИХ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ СЕРВИСНЫЕ УСЛУГИ  
ПРИ СЛУЧАЙНОМ СПРОСЕ (на примере ОАО «АК ВНЗМ»)**

Биккулов С.Н.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет*

В современных российских условиях, когда многие предприятия не обновляли свои основные фонды десятилетиями, происходит увеличение аварийных ситуаций. Это, прежде всего, обусловлено конкретными причинами:

- экономической нестабильностью в стране в начале 90-х годов;
- высшее звено руководства предприятий стремилось в краткосрочной перспективе получить максимальную прибыль;
- не были поставлены планы по развитию предприятий на долгосрочную перспективу;
- износ оборудования;
- частая смена собственников;
- проводились только текущие ремонты для поддержания работоспособности предприятий, а капитальные очень редко и т.д.

Выполненная оценка технического состояния основных фондов показала, что в настоящее время четверть основных фондов отечественного нефтегазового оборудования не соответствует мировому уровню и требует модернизации, 15% - морально устарело и подлежит снятию с производства, а ряд специального технологического оборудования требует разработки и освоения.

В то же время доля оборудования в общем объеме инвестиций по каждому проекту превышает 85%.

Так степень износа, технологического оборудования составляет в нефтяной промышленности 65%, в газовой 70%, в нефтеперерабатывающей 85%, а в электроэнергетике 75%. Сказанное подтверждается основными показателями развития топливно-энергетического комплекса (ТЭК) в России и свидетельствует о том, что значительная часть средства производства, находящихся в эксплуатации, была создана еще в советские годы и выработала свой ресурс.

В настоящее время ремонтом оборудования занимаются специализированные предприятия, оказывающие профессиональные сервисные услуги (ПСУ) в той или иной области. Прежде всего, это связано с тем, что крупным предприятиям экономически выгоднее нанять предприятия оказывающие ПСУ, чем заниматься самим и отвлекаться от основного производства для ремонта. Крупные предприятия нанимают несколько десятков предприятий оказывающих ПСУ в той или иной области.

Рассмотрим экономико-математическую модель организации ремонтного процесса на примере ОАО «Акционерной компании Востокнефтезаводмонтаж» (ОАО «АК ВНЗМ»), специализация которой ремонт и замена оборудования для нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств. ОАО «АК ВНЗМ» занимается предоставлением ПСУ многим предприятиям на территории Республики Башкортостан и за его пределами, благодаря тому, что у нее большая сеть филиалов в таких городах, как Мелеуз, Салават, Стерлитамак и Уфе. Примерная схема поставок запасных частей, оборудования и комплектующих материалов (обозначим, как ЗИП) для ремонтов проводимых ОАО «АК ВНЗМ» представлена на рисунке 1.

Для любого предприятия, оказывающего ПСУ, актуальной проблемой является управление запасами. Поэтому, минимизация запасов одно из приоритетных направлений развития предприятия. В связи со значительным износом основных фондов на предприятиях - заказчиках, с каждым годом происходит увеличение количество аварий и внештатных ситуаций. В этом случае особый интерес представляет задача управления запасами ЗИП при случайном спросе.

Предприятия ПСУ при случайном спросе, должны управлять запасами таким образом, чтобы одновременно минимизировать их и иметь требуемое такое количество комплектующих материалов, удовлетворяющее потребностям предприятия - заказчиков.

Здесь надо еще учитывать множество факторов, влияющих на минимизацию запасов:

- случайные отказы оборудования;
- риски поставок комплектующих материалов;

- увеличение объемов комплектующих материалов в складских помещениях у предприятий ПСУ, что ухудшает финансовое состояние;
- форс-мажорные обстоятельства и т.д.

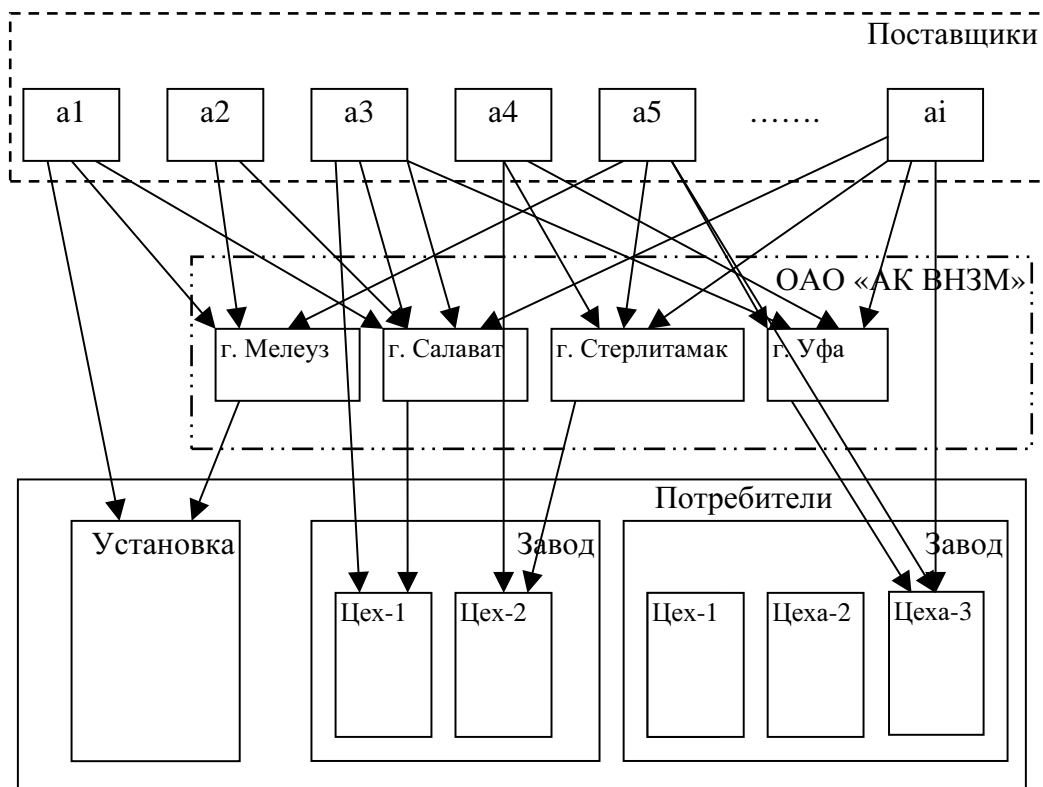


Рисунок 1. Схема поставок комплектующих материалов в ОАО «АК ВНЗМ»

Предположим, что на предприятии оборудование выходит из строя случайным образом. Обозначим, номенклатуру запасных частей, определяется индексом  $i = \overline{1, M}$ .

Предположим, что вероятность поломки  $z_i$  штук деталей вида  $i$  равна  $P(z_i)$ ;

где, стоимость одной детали вида  $i$  равна -  $C_{1i}$ ;

убытки в случае поломки и отсутствия запчастей вида  $i$  -  $C_{2i}$ ;

стоимость хранения детали вида  $i$  -  $C_{3i}$ .

Определим оптимальное количество запасных деталей  $Z_i$ , т.е. такое, чтобы суммарные затраты на приобретение, средние затраты из-за нехватки запчастей при поломке и хранение запасов были минимальны.

Суммарные затраты на приобретение, убытки в случае поломки и отсутствия запчасти и хранения подсчитываются по формуле.

$$Y(Z_1, \dots, Z_M) = \sum_{i=1}^M \left( (C_{1i} + C_{3i}) \sum_{z_i=1}^{Z_i} (Z_i - z_i) P(z_i) + C_{2i} \sum_{z_i=Z_i+1}^{\infty} (z_i - Z_i) P(z_i) \right).$$

Тогда задача оптимизации формулируется следующим образом:

$$\text{Найти } (Z_1, \dots, Z_M) \text{ такой что } \sum_{i=1}^M Y_i(Z_i) \Rightarrow \min$$

Здесь возможны два исключаяющих друг друга случая:

- 1)  $Z_i \leq Z_i$ , когда запас покрывает спрос;
- 2)  $Z_i > Z_i$ , когда имеется недостаток запчастей.

Исследование экономико-математической модели. Поскольку целевая функция сепарабельная, то минимум функции достигается тогда, когда каждая компонента достигает своего минимума. Подсчитаем значение целевой функции  $Y$  для  $Z_i + 1$  и  $Z_i - 1$ .

$$\begin{aligned} Y_i(Z_i + 1) &= (C_{1i} + C_{3i}) \sum_{z_i=0}^{Z_i+1} (Z_i + 1 - z_i) P(z_i) + C_{2i} \sum_{z_i=Z_i+2}^{\infty} (z_i - 1 - z_i) P(z_i) = \\ &= (C_{1i} + C_{3i}) \sum_{z_i=0}^{Z_i} (Z_i + 1 - z_i) P(z_i) + (C_{1i} + C_{3i})(Z_i + 1 - Z_i - 1) P(Z_i + 1) + \\ &+ C_{2i} \sum_{z_i=Z_i+1}^{\infty} (z_i - 1 - z_i) P(z_i) - C_{2i} (Z_i + 1 - Z_i - 1) P(Z_i + 1) = \\ &= (C_{1i} + C_{3i}) \sum_{z_i=0}^{Z_i} (z_i - z_i) P(z_i) + (C_{1i} + C_{3i}) \sum_{z_i=0}^{Z_i} P(z_i) + C_{2i} \sum_{z_i=Z_i+1}^{\infty} (z_i - Z_i) P(z_i) - C_{2i} \sum_{z_i=Z_i+1}^{\infty} P(z_i). \end{aligned}$$

Используя равенство  $\sum_{z_i=0}^{\infty} P(z_i) = 1$ , можем записать:

$$\sum_{z_i=Z_i+1}^{\infty} P(z_i) = 1 - \sum_{z_i=0}^{Z_i} P(z_i).$$

Окончательно получаем:

$$Y_i(Z_i + 1) = Y_i(Z_i) + ((C_{1i} + C_{3i}) + C_{2i}) \sum_{z_i=0}^{Z_i} P(z_i) - C_{2i}.$$

Аналогично можно показать, что

$$Y_i(Z_i - 1) = Y_i(Z_i) - ((C_{1i} + C_{3i}) + C_{2i}) \sum_{z_i=0}^{Z_i} P(Z_i) + C_{2i}.$$

будет минимально, если

$$Y_i(Z_i - 1) > Y_i(Z_i)$$

$$Y_i(Z_i) < Y_i(Z_i + 1)$$

$$Y_i(Z_i + 1) - Y_i(Z_i) = ((C_{1i} + C_{3i}) + C_{2i}) \sum_{z_i=0}^{Z_i} P(Z_i) - C_{2i};$$

$$Y_i(Z_i - 1) - Y_i(Z_i) = -((C_{1i} + C_{3i}) + C_{2i}) \sum_{z_i=0}^{Z_i} P(Z_i) + C_{2i};$$

$$\begin{cases} \sum_{z_i=0}^{\overline{Z_i}-1} P(Z_i) > \frac{C_{2i}}{(C_{1i} + C_{3i}) + C_{2i}}; \\ \frac{C_{2i}}{(C_{1i} + C_{3i}) + C_{2i}} < \sum_{z_i=0}^{\overline{Z_i}} P(Z_i) \end{cases}$$

Вычисляя левую и правую части последнего неравенства, можно найти такое  $\overline{Z_i}$ , при котором отношение  $\frac{C_{2i}}{(C_{1i} + C_{3i}) + C_{2i}}$  окажется заключенным между ними. Эти значения  $\overline{Z_i}$  и являются оптимальными для каждого вида деталей.

Если спрос - непрерывная величина, то, заменяя распределение вероятностей  $P(Z_i)$  плотностью распределения вероятностей  $f(z_i)$ , получим математическую модель в виде:

$$Y_i(Z_i) = (C_{1i} + C_{3i}) \int_0^{Z_i} (Z_i - z_i) f(z_i) dz_i - C_{2i} \int_{Z_i+1}^{\infty} f(z_i) dz_i.$$

Для определения оптимального значения  $Z_{\text{опт}}$ , используем необходимое условие 1-го порядка

$$\frac{dY_i}{dZ_i} = (C_{1i} + C_{3i}) \int_0^{Z_i} f(z_i) dz_i - C_{2i} \int_{Z_i+1}^{\infty} f(z_i) dz_i.$$

Используя полученное равенство

$$\int_0^{\infty} f(z_i) dz_i = 1,$$

Тогда получаем

$$\int_{Z_i+1}^{\infty} f(z_i) dz_i = 1 - \int_0^{Z_i} f(z_i) dz_i,$$

Окончательно - выражение для производной

$$\frac{dY_i}{dZ_i} = ((C_{1i} + C_{3i}) + C_{2i}) \int_0^{Z_i} f(z_i) dz_i - C_{2i}.$$

Приравнявая это выражение нулю, получаем:

$$\frac{C_{2i}}{(C_{1i} + C_{3i}) + C_{2i}} = \int_0^{Z_i} f(z_i) dz_i = P(Z_i \leq Z_i).$$

Отсюда, можно определить оптимальное количество необходимых запасных деталей.

Для определения оптимального количества деталей на конкретном предприятии, следует задать плотность распределения выхода из строя деталей.

Обычно плотность распределения определяется с помощью проверки непараметрических гипотез, о законе распределения исходя из статистических данных.

Поскольку нефтеперерабатывающий комплекс является высоконадежным производством, то выхода из строя комплектующих материалов является редким событием. Тогда можно принять, что случайная величина распределения по закону Пуассона с различными интенсивностями выхода из строя деталей вида  $i$ , где  $\lambda_i$  определяются статистики выхода из строя деталей (хотя, для каждого вида деталей требуется дополнительные исследования по виду закону распределения).

$$P_j(z_i) = \frac{\lambda_i^j}{j!} e^{-\lambda_i},$$

где,  $\lambda_i$  - интенсивность выхода из строя деталей.

Основной задачей в этом случае является задачи определения зависимости оптимального количества деталей в зависимости от соотношения цен и интенсивности потока отказов.

Ниже, рассматривается пример для 3-х комплектующих, при различных значениях интенсивности  $\lambda_i$ .

Таблица 1

Зависимость количества комплектующих от интенсивности потока отказов цены комплектующих (при фиксированных ценах на хранение и доставку)  
при  $c_1=(3000, \dots, 4000)$ ;  $c_2=4000$ ;  $c_3=3600$

	3000	3200	3400	3600	3800	4000
10	8	8	8	8	8	8
12	10	10	10	10	10	9
14	12	12	12	11	11	11
16	14	14	14	13	13	13
18	16	15	15	15	15	15
20	17	17	17	17	17	17
22	19	19	19	19	19	19
24	21	21	21	21	21	21
26	23	23	23	23	23	23
28	26	25	25	25	25	25
30	27	27	27	27	27	27
32	29	29	29	29	29	29
34	31	31	31	31	31	31

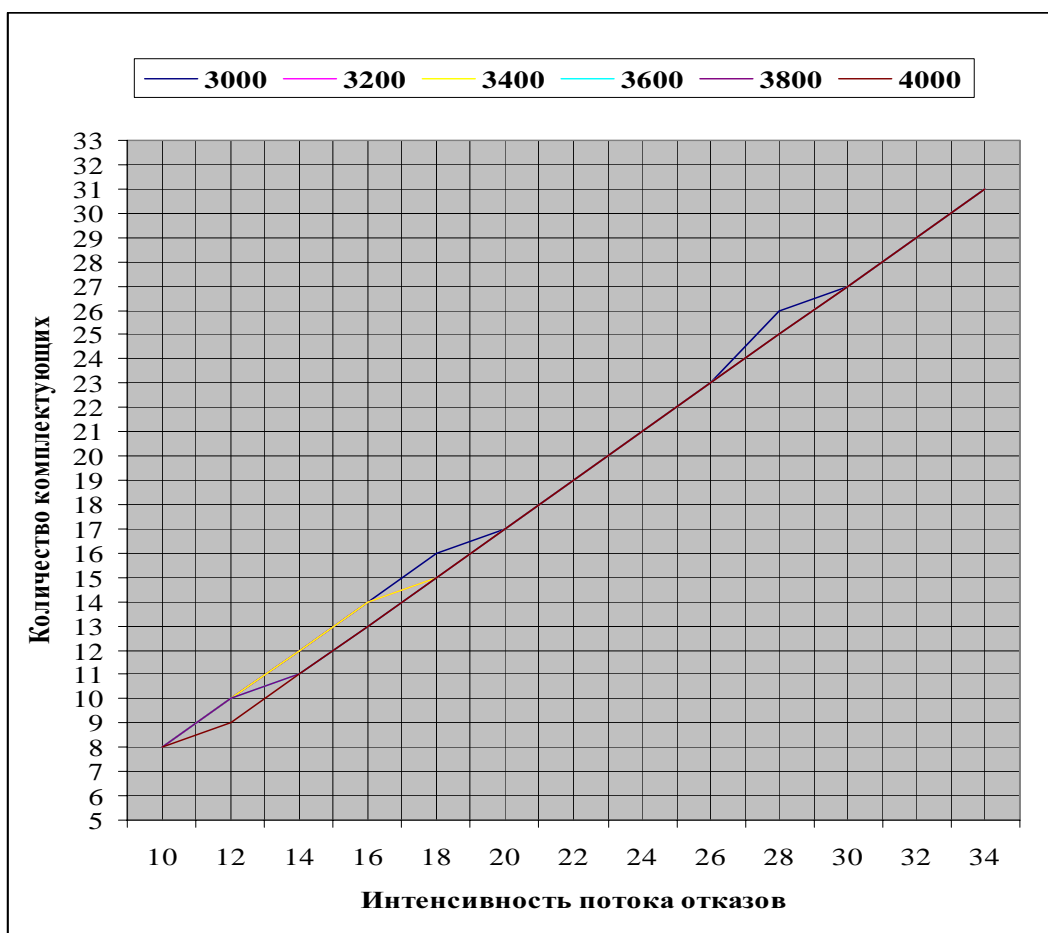


Рисунок 2. Зависимость количества комплектующих от интенсивности потока отказов

Таблица 2

Зависимость количества комплектующих от интенсивности потока отказов цены комплектующих (при фиксированных ценах на хранение и доставку)  
при  $c_1=3000$ ;  $c_2=(3000, \dots, 4000)$ ;  $c_3=3600$

	3000	3200	3400	3600	3800	4000
10	7	7	8	8	8	8
12	9	9	9	10	10	10
14	11	11	11	11	12	12
16	13	13	13	13	13	14
18	15	15	15	15	15	16
20	17	17	17	17	17	17
22	19	19	19	19	19	19
24	20	21	21	21	21	21
26	22	23	23	23	23	23
28	24	24	25	25	25	25
30	26	26	27	27	27	27
32	28	28	29	29	29	29
34	30	30	30	31	31	31

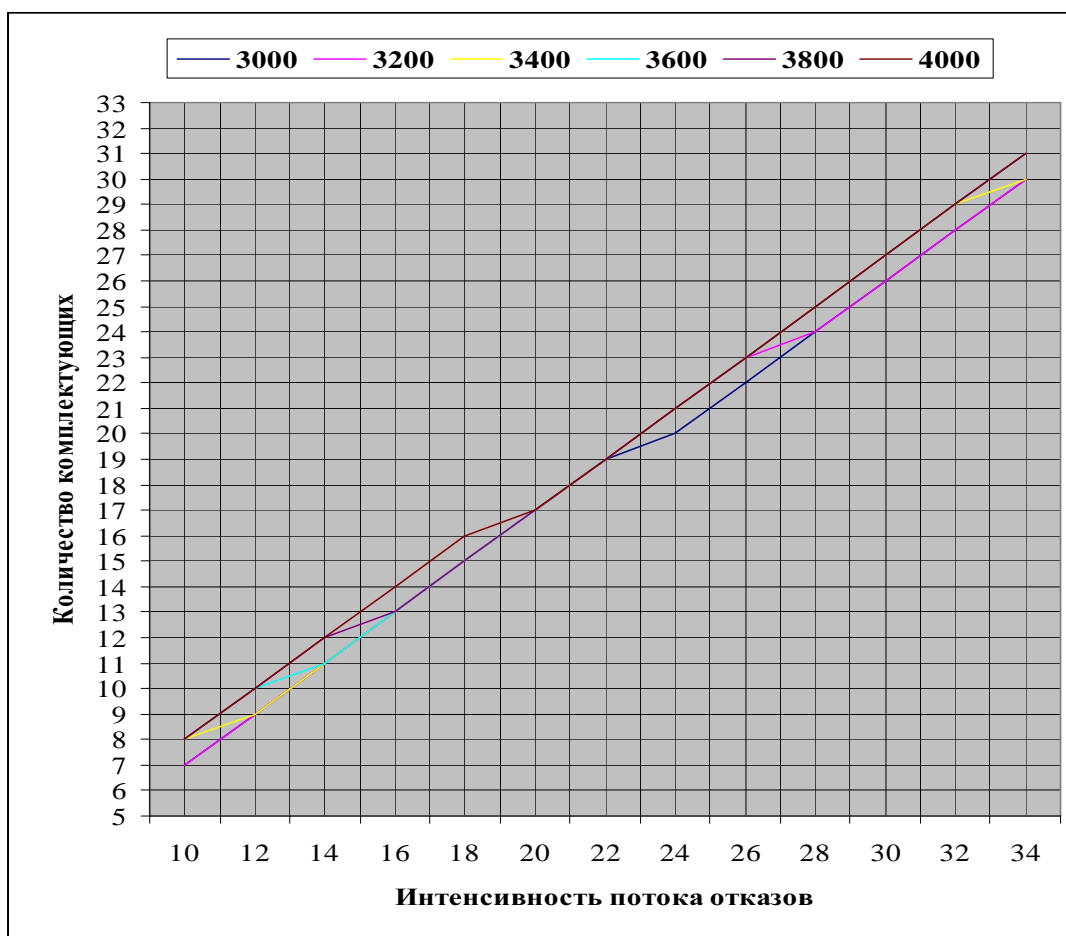


Рисунок 3. Зависимость количества комплектующих от интенсивности потока отказов

Таблица 3

Зависимость количества комплектующих от интенсивности потока отказов цены комплектующих (при фиксированных ценах на хранение и доставку)  
при  $c_1=3000$ ;  $c_2=4000$ ;  $c_3=(3000, \dots, 4000)$

	3000	3200	3400	3600	3800	4000
10	8	8	8	8	8	8
12	10	10	10	10	10	10
14	12	12	12	12	12	12
16	14	14	14	14	14	13
18	16	16	16	16	15	15
20	18	18	17	17	17	17
22	20	20	19	19	19	19
24	22	21	21	21	21	21
26	24	23	23	23	23	23
28	26	25	25	25	25	25
30	27	27	27	27	27	27
32	29	29	29	29	29	29
34	31	31	31	31	31	31

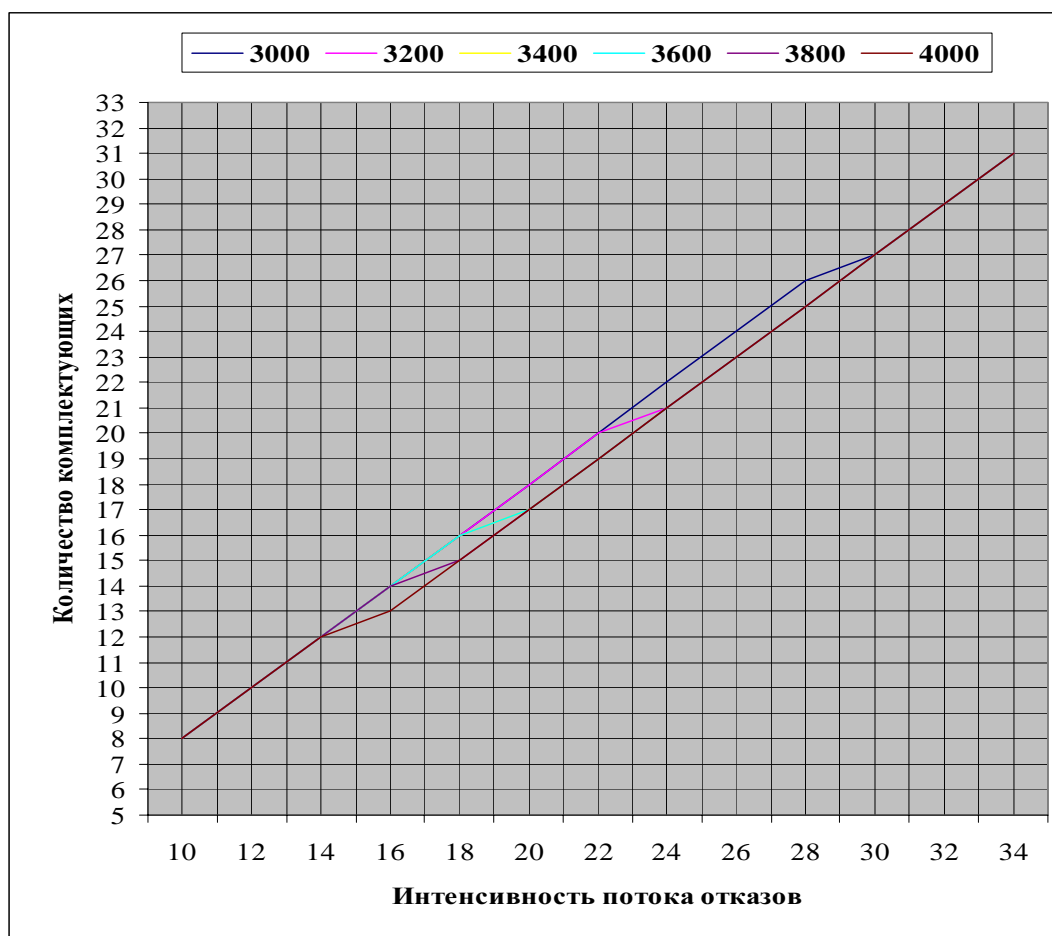


Рисунок 4. Зависимость количества комплектующих от интенсивности потока отказов

Из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

Во-первых, получена методика определения оптимального по критерию учитывающие суммарные затраты на приобретение, убытки в случае поломки и отсутствие запасных частей и хранение деталей различного вида при случайном спросе.

Во-вторых, исследована зависимость оптимального количества комплектующих материалов на складе при изменении различных факторов в предположении, что поток отказов подчиняются закону Пуассона.

В-третьих, установлены, что зависимость количества комплектующих, от интенсивности потока отказов является линейной функцией с определенной скоростью изменения  $k$ ,

В-четвертых, получена зависимость оптимального количества комплектующих в зависимости от интенсивности потока отказов и цен на комплектующие, а также затрат на хранение и транспортировку, которые приведены в виде графиков.

Данная экономико-математическая модель использовано при планировании в ОАО «АК ВНЗМ», что позволило минимизировать затраты, при случайном спросе на комплектующие материалы.

### Литература

1. Биккулов С.Н., Фролов Ю.А. Общая характеристика материально-технического обеспечения в топливно-энергетическом комплексе (ТЭК) //Экономические проблемы экономической теории и практики - Уфа: УГНТУ, 2005, № 3 - С.35-51.
2. Биккулов С.Н., Егоров В.И. Теоретические проблемы логистики в организации профессиональных сервисных услуг //Экономические проблемы экономической теории и практики - Уфа: УГНТУ, 2006, № 5, Том I - С.11-25.
3. Вентцель Е.С. Исследование операций. - М.: Сов. радио.1969. -552 с.
4. Первозванский А.А. Математические модели в управлении производством. - М.: Наука 1975.- 616 с.
5. Кудрявцев Л.Д. Исследование операций в примерах и задачах.- М.: Наука 1983. - 340 с.