

СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЗАПАСНЫМИ ЧАСТЯМИ

Асп. А.В. ВАНЮЖИН

Рассматриваются различные варианты систем обеспечения производства запасными частями: создание собственного склада запасных частей; отказ от собственного склада и приобретение запасных частей у производителей по мере необходимости; объединение со смежниками по принципам хранения и изготовления запасных частей; самостоятельное изготовление запасных частей, и использование распределительной системы, имеющей запасы хранения запасных частей, базу для выполнения ремонтных и восстановительных работ и обменный фонд. Приведены формулы для расчётов штрафов, возникающих вследствие простоя оборудования, затрат на приобретение и хранение запасных частей и общих затрат на хранение, приобретение и штрафы для различных систем. Используя различные начальные условия можно выбрать вариант, который будет наименее затратным.

Various variants of spares backup in a production system are considered: creation of own warehouse of spare parts; refusal of own warehouse and purchase of spare parts from manufacturers to a measure of necessity; association with accessory manufacturers on principles of storage and spare parts production, and use of the distributive system having spare parts in stock as well as the base for repair and recovery work and the exchange fund. Formulas for accounts of the fines arising owing to equipment downtime, expenses for purchase and storage of spare parts and the general costs for storage, purchase and fines for various systems are given.

Эффективность производственной системы зависит не только от конечных результатов производственно-хозяйственной деятельности, но и от качества и времени выполнения ремонтных работ и работ по техническому обслуживанию технологического оборудования.

В процессе эксплуатации производственных систем технологическое оборудование часто выходит из строя или достигает такого состояния, что на нем не представляется возможным выпускать продукцию требуемого качества. В этом случае нужна замена или ремонт детали или узла, который не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к нему в процессе эксплуатации.

Для сравнения различных вариантов систем обеспечения производства запасными частями предлагается математическая модель для расчёта продолжительности простоя оборудования и затрат на приобретение и хранение запасных частей.

Начальные данные для математической модели:

- 1) количество технических обслуживаний и ремонта (ТОиР);
- 2) продолжительность выполнения ТОиР;
- 3) интервалы времени между ТОиР;
- 4) продолжительность ожидания начала выполнения ТОиР;
- 5) затраты на приобретение, изготовление и хранение запасных частей.

Продолжительность простоя объекта $x_{\theta,i}$, обусловленная плановыми и внеплановыми ремонтными работами, связанными и не связанными с климатическими, кадровыми и другими факторами, определяется через время простоя в ожидании начала ТОиР z_i и продолжительность выполнения ТОиР θ_i

$$x_{\theta,i} = z_i + \theta_i, \quad (1)$$

где i — номер работы.

Общая продолжительность простоев объектов $X_{\theta,i}$, обусловленная плановыми и внеплановыми ТОиР ко времени окончания i -го ТОиР, определяется продолжительностями простоев $x_{\theta,i}$ при их выполнении

$$X_{\theta,i} = X_{\theta,i-1} + x_{\theta,i}. \quad (2)$$

Величина штрафа d_i , связанная с простоем оборудования во время выполнения i -го ТОиР, определяется продолжительностью простоя и функцией штрафа в единицу времени простоя $h_i(t)$, зависящей от продолжительности простоя,

$$d_i = \int_0^{x_{\theta,i}} h_i(t) dt. \quad (3)$$

Функция штрафа в единицу времени простоя зависит также от вида ТОиР. Плановые ТОиР имеют одни функции, а внеплановые — другие.

Общая величина штрафов D_i ко времени окончания i -го ТОиР определяется размерами штрафов d_i

$$D_i = D_{i-1} + d_i. \quad (4)$$

Общая продолжительность простоев в ожидании начала выполнения ТОиР ко времени выполнения i -го ТОиР Z_i определяется продолжительностями ожиданий начала выполнений ТОиР z_i

$$Z_i = Z_{i-1} + z_i. \quad (5)$$

Время начала выполнения i -го ТОиР T_i определяется интервалами времени между i -ым и $(i + 1)$ -ым работами по ТОиР t_i :

$$T_i = T_{i-1} + t_{i-1}. \quad (6)$$

Для сравнения затрат на приобретение, хранение, изготовление запасных частей по видам систем обеспечения запасными частями рассмотрим эти затраты подробно по вариантам.

Создание собственного склада запасных частей

В этом варианте предприятие создаёт у себя склад запасных частей (случай, когда запасные части, которых не оказывается на своём складе, приобретаются у производителя запасных частей, рассматривается во втором варианте).

Принимаем допущения, что на собственном складе запасных частей имеются все необходимые для ремонта запасные части и оплата за поставляемые запасные части производится по получении запасных частей. Затраты на обеспечение запасными частями будут определяться затратами на приобретение и хранение.

Количество запасных частей по видам хранимых на складе запасных частей предприятия ко времени окончания i -го ТОиР $F_{1,i,j}^{\text{соб.скл.}}$ определяется количеством запасных частей, хранимых на складе ко времени окончания $(i-1)$ -го ТОиР $F_{1,i-1,j}^{\text{соб.скл.}}$, выданных со склада $F_{1,i,j}^{\text{расход.соб.}}$ и полученных складом $F_{1,i,j}^{\text{соб.скл.приток}}$ в течение промежутка времени между i -ым и $(i + 1)$ -ым ТОиР

$$F_{1,i,j}^{\text{соб.скл.}} = F_{1,i-1,j}^{\text{соб.скл.}} - F_{1,i,j}^{\text{расход.соб.}} + F_{1,i,j}^{\text{соб.скл.приход}}, \quad (7)$$

где j – номер вида запасной части.

Затраты на приобретение запасных частей в промежутке времени между i -ым и $(i+1)$ -ым ТОиР $G_{1,i}$ определяется количеством приобретаемых запасных частей $F_{1,i,j}^{\text{соб.скл.приход}}$ и их стоимостью приобретения и доставки $q_{1,j}$

$$G_{1,i} = \sum_{j=1}^n F_{1,i,j}^{\text{соб.скл.приход}} q_{1,j}, \quad (8)$$

где n — количество видов запасных частей.

Полная величина затрат на приобретение запасных частей в течение m работ по ТОиР $G_{1,m}$ определяется затратами на приобретение запасных частей в промежутках времени между ТОиР

$$G_{1,m} = \sum_{i=1}^m G_{1,i} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n F_{1,i,j}^{\text{соб.скл.приход}} q_{1,j}. \quad (9)$$

Затраты на хранение запасных частей $H_{1,i}$ в промежутке времени между i -ым и $(i+1)$ -ым ТОиР определяются через количество хранимых запасных частей $F_{1,i,j}^{\text{соб.скл.}}$, стоимость их хранения в единицу времени $c_{1,j}$ и продолжительность интервала времени между i -ой и $(i+1)$ -ой работами по ТОиР t_i

$$H_{1,i} = \sum_{j=1}^n F_{1,i,j}^{\text{соб.скл.}} c_{1,j} t_i. \quad (10)$$

Полные затраты на хранение запасных частей $H_{1,m}$ в течение времени работы системы до момента окончания выполнения m -ой работы по ТОиР определяются затратами на хранение запасных частей в промежутках времени между ТОиР

$$H_{1,m} = \sum_{i=1}^m H_{1,i} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n F_{1,i,j}^{\text{соб.скл.}} c_{1,j} t_i. \quad (11)$$

Штрафы от простоев оборудования определяются для всех вариантов одинаково вне зависимости от вида по формулам (3) и (4).

Суммарные затраты на систему обеспечения запасными частями в течение m работ по ТОиР определяются через затраты на приобретение запасных частей, хранение запасных частей и общую величину штрафов от простоев ко времени окончания m работ ТОиР

$$W_{1,m} = G_{1,m} + H_{1,m} + D_m = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n F_{1,i,j}^{\text{соб.скл.приход}} q_{1,j} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n F_{1,i,j}^{\text{соб.скл.}} c_{1,j} t_i + \sum_{i=1}^m \int_0^{x_{0j}} h_i(t) dt. \quad (12)$$

Приобретение запасных частей у производителей запасных частей

В этом варианте предприятие отказывается от хранения запасных частей, кроме минимального ЗИП, и требуемые запасные части заказывает у производителей.

Для данного варианта принимаем допущение, что все запасные части для ремонта заказываются и доставляются от производителей запасных частей и затраты на их приобретение в промежутке времени между i -ым и $(i+1)$ -ым ТОиР $G_{2,i}$ определяется количеством приобретаемых запасных частей $F_{2,i,j}^{\text{приоб}}$, стоимостью приобретения и доставки $q_{2,j}$

$$G_{2,i} = \sum_{j=1}^n F_{2,i,j}^{\text{приобр}} q_{2,j}. \quad (13)$$

Полная величина затрат на приобретение и доставку запасных частей в течение m работ по ТОиР определяется затратами на приобретение запасных частей в промежутках времени между ТОиР

$$G_{2,m} = \sum_{i=1}^m G_{2,i} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n F_{2,i,j}^{\text{приобр}} q_{2,j}. \quad (14)$$

В связи с тем, что все запасные части приобретаются у производителей, затраты на систему обеспечения запасными частями в течение m работ по ТОиР $W_{2,m}$ определяются затратами на приобретение и доставку запасных частей и общей величиной штрафов от простоев ко времени окончания m работ ТОиР

$$W_{2,m} = G_{2,m} + D_m = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n F_{2,i,j}^{\text{приобр}} q_{2,j} + \sum_{i=1}^m \int_0^{x_{0,i}} h_i(t) dt. \quad (15)$$

Объединение со смежниками

Создание складов запасных частей на предприятии и у смежников для совместного хранения. В этом варианте предприятие и смежники создают склады каждый у себя и хранят на этих складских помещениях. Принимаем допущение, что все запасные части для ТОиР хранятся на складах запасных частей предприятий-смежников, заказываются и доставляются к месту ремонта с этих складов. Также принимаем, что предприятие приобретает запасные части j -го вида по цене $q_{3,j}$, а отпускает смежникам по цене $p_{3,j}$.

Затраты на систему обеспечения запасными частями будут определяться затратами на приобретение запасных частей у смежника и хранения запасных частей на собственном складе предприятия.

Количество запасных частей, хранимых на собственном складе, ко времени окончания i -го ТОиР $F_{3,i,j}^{\text{соб.скл.}}$ определяется количествами запасных частей, хранимых на складе ко времени окончания $(i-1)$ -го ТОиР $F_{3,i-1,j}^{\text{соб.скл.}}$, полученных складом запасных частей предприятия $F_{3,i,j}^{\text{соб.скл.приход}}$ и отпущенных с этого склада на собственные нужды предприятия $F_{3,i,j}^{\text{расход.соб.}}$ и на нужды смежников $F_{3,i,j}^{\text{расход.смеж.}}$ в течение промежутка времени между i -ым и $(i+1)$ -ым ТОиР

$$F_{3,i,j}^{\text{соб.скл.}} = F_{3,i-1,j}^{\text{соб.скл.}} + F_{3,i,j}^{\text{соб.скл.приход}} - (F_{3,i,j}^{\text{расход.соб.}} + F_{3,i,j}^{\text{расход.смеж.}}). \quad (16)$$

Затраты на приобретение запасных частей в промежутке времени между i -ым и $(i+1)$ -ым ТОиР определяется через количество приобретаемых запасных частей $F_{3,i,j}^{\text{соб.скл.приход}}$ и их стоимость приобретения и доставки $q_{3,j}$

$$G_{3,i}^{\text{соб.скл.}} = \sum_{j=1}^n F_{3,i,j}^{\text{соб.скл.приход}} q_{3,j}. \quad (17)$$

Затраты на приобретение запасных частей смежниками у предприятия между i -ой и $(i+1)$ -ой работами по ТОиР определяется через количество приобретаемых смежниками у предприятия запасных частей $F_{3,i,j}^{\text{расход.смеж.}}$ и стоимостью, по которой предприятие отпускает эти детали $p_{3,j}$,

$$G_{3,i}^{\text{смеж.}} = \sum_{j=1}^n F_{3,i,j}^{\text{расход. смеж.}} P_{3,j}. \quad (18)$$

Полная величина затрат на приобретение запасных частей предприятием в течение m работ по ТОиР определяется затратами на приобретение запасных частей в промежутках времени между ТОиР

$$G_{3,m}^{\text{соб. скл.}} = \sum_{i=1}^m G_{3,i}^{\text{соб. скл.}} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n F_{3,i,j}^{\text{соб. скл. приход}} q_{3,j}. \quad (19)$$

Полная величина затрат на приобретение запасных частей смежниками у предприятия в течение m работ по ТОиР также определяется затратами на приобретение запасных частей в промежутках времени между ТОиР

$$G_{3,m}^{\text{смеж.}} = \sum_{i=1}^m G_{3,i}^{\text{смеж.}} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n F_{3,i,j}^{\text{расход. смеж.}} P_{3,j}. \quad (20)$$

Затраты на хранение запасных частей в промежутке времени между i -ым и $(i+1)$ -ым ТОиР определяются через количество хранимых запасных частей $F_{3,i,j}^{\text{соб. скл.}}$, стоимость их хранения в единицу времени $c_{3,j}$ и продолжительность интервала времени между i -ым и $(i+1)$ -ым работами по ТОиР

$$H_{3,i} = \sum_{j=1}^n F_{3,i,j}^{\text{соб. скл.}} c_{3,j} t_i. \quad (21)$$

Полная стоимость хранения запасных частей в течение полного времени работы системы до момента окончания выполнения m -ой работы по ТОиР

$$H_{3,m} = \sum_{i=1}^m H_{3,i} = \sum_{j=1}^n F_{3,i,j}^{\text{соб. скл.}} c_{3,j} t_i. \quad (22)$$

Суммарные затраты на систему обеспечения запасными частями в течение m работ по ТОиР $W_{3,m}$ определяются через затраты на приобретение запасных частей предприятием и смежниками, хранение запасных частей и общей величины штрафов от простоев ко времени окончания m работ ТОиР:

$$W_{3,m} = G_{3,m}^{\text{соб. скл.}} - G_{3,m}^{\text{смеж.}} + H_{3,m} + D_m = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n F_{3,i,j}^{\text{соб. скл. приход}} q_{3,j} - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n F_{3,i,j}^{\text{расход. смеж.}} P_{3,j} + \sum_{j=1}^n F_{3,i,j}^{\text{соб. скл.}} c_{3,j} t_i + \sum_{i=1}^m \int_0^{x_{0,i}} h_i(t) dt. \quad (23)$$

Изготовление запасных частей смежниками. В этом варианте предприятия объединяются и изготавливают требуемые запасные части на тех предприятиях, которые имеют возможность их изготовления (объединяются по технологическому принципу изготовления запасных частей). Для данного варианта, принимаем допущение, что все запасные части изготавливаются на предприятиях-смежниках.

Затраты на изготовление запасных частей в течение i -го ТОиР $E_{4,i}$ определяется количеством изготавливаемых запасных частей $F_{4,i,j}^{\text{изг}}$ и затратами на изготовление и доставку $s_{4,j}$ единицы запасных частей по видам

$$E_{4,i} = \sum_{j=1}^n F_{4,i,j}^{\text{изг}} s_{4,j}. \quad (24)$$

Полная величина затрат на изготовление и доставку запасных частей в течение m работ по ТОиР определяется затратами на изготовление запасных частей в промежутках времени между ТОиР

$$E_{4,m} = \sum_{i=1}^m E_{4,i} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n F_{4,i,j}^{изз} s_{4,j}. \quad (25)$$

В связи с тем, что все запасные части изготавливаются по мере необходимости, затраты на систему обеспечения запасными частями в течение m работ по ТОиР определяются затратами на изготовление запасных частей и общей величиной штрафов от простоев ко времени окончания m работ ТОиР

$$W_{4,m} = E_{4,m} + D_m = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n F_{4,i,j}^{изз} s_{4,j} + \sum_{i=1}^m \int_0^{x_{0,j}} h_i(t) dt. \quad (26)$$

Самостоятельное изготовление запасных частей

В данном варианте предприятие само изготавливает требуемые запасные части. Для этого варианта принимаем допущение, что все требуемые запасные части могут быть самостоятельно изготовлены на предприятии. В этом случае затраты на систему обеспечения запасными частями будут определяться затратами на самостоятельное изготовление запасных частей и их доставку к месту ремонта.

Затраты на изготовление запасных частей в течение i -го ТОиР определяются количеством изготавливаемых запасных частей $F_{5,i,j}^{сам.изз}$ и затратами на изготовление и доставку $s_{5,j}$ единицы запасных частей по видам

$$E_{5,i} = \sum_{j=1}^n F_{5,i,j}^{сам.изз} s_{5,j}. \quad (27)$$

Полная величина затрат на изготовление и доставку запасных частей в течение m работ по ТОиР определяется затратами на изготовление запасных частей в промежутках времени между ТОиР

$$E_{5,m} = \sum_{i=1}^m E_{5,i} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n F_{5,i,j}^{сам.изз} s_{5,j}. \quad (28)$$

В связи с тем, что все запасные части изготавливаются предприятием самостоятельно по мере необходимости, затраты на систему обеспечения запасными частями в течение m работ по ТОиР определяются затратами на изготовление запасных частей и общей величиной штрафов от простоев оборудования ко времени окончания m работ ТОиР

$$W_{5,m} = E_{5,m} + D_m = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n F_{5,i,j}^{сам.изз} s_{5,j} + \sum_{i=1}^m \int_0^{x_{0,j}} h_i(t) dt. \quad (29)$$

Использование распределительной системы «Коллектор»

В распределительной системе «Коллектор» создается: 1) склад для хранения запаса запасных частей; 2) ремонтная служба для восстановления точности и работоспособности деталей, агрегатов, узлов; 3) обменный фонд, в котором вышедшие из строя узлы и агрегаты могут быть заменены на работоспособные; 4) служба, занимающаяся возвратом бракованных деталей производителям.

Распределительная система «Коллектор» работает следующим образом.

1. Производители запасных частей размещают свои запасные части на складе распределительной системы. Предполагается, что количество размещаемого запаса будет определяться величиной вероятности отказа по видам запасных частей, требуемых для устранения отказа. Таким образом, чем меньше вероятность отказов, тем меньше количество запасных частей, хранимых на складе, и, соответственно, затраты на их хранение.

2. У распределительной системы имеется своя база данных по отказам. По этой базе данных осуществляется анализ качества изделий тех или иных производителей запасных частей и затраты на их хранение. Если уровни качества изделий у производителя не будут соответствовать некоторому допустимому уровню, то от услуг этого производителя можно будет отказаться.

3. Некоторые узлы и агрегаты по мере эксплуатации могут выходить из строя. В этом случае предполагается, что предприятия смогут отправить вышедшие из строя узлы и агрегаты в ремонтную службу. Если ремонт агрегата будет занимать длительное время, то на время ремонта сломанного агрегата из обменного фонда может быть поставлен другой аналогичный агрегат и произведен ремонт оборудования потребителя. После окончания ремонта отремонтированный агрегат может быть либо установлен на прежнее место, либо останется в обменном фонде, а затем таким же образом использован при поломке подобного агрегата у этого же потребителя или у другого потребителя с согласия последнего. Это позволит сократить время полного ремонта оборудования потребителя.

4. Некоторые узлы и агрегаты со временем теряют точность, например позиционирования, снижается их производительность или качество работы. Для этих узлов и агрегатов может быть восстановлена точность или другие параметры до паспортных значений. Причем затраты на восстановление, как правило, много меньше, чем приобретение нового изделия. Также на время восстановления может быть выдано исправное, соответствующее паспортным данным изделие или взамен изделия, не удовлетворяющего требуемым характеристикам, выдано другое, восстановленное или новое.

5. Если в запасе хранения распределительной системы не будет в наличии требуемых запасных частей, то они могут быть приобретены у производителя запасных частей.

6. Возврат бракованных изделий или изделий, вышедших из строя в течение срока эксплуатации, осуществляется через распределительную систему. В этом случае потребители без промедления в случае наличия на складе распределительной системы получают исправные изделия взамен бракованных, которые затем отправляются производителям запасных частей.

Для расчетов в упрощенном виде для данной системы примем допущение, что все запасные части для ремонта приобретаются у распределительной системы «Коллектор» и они все имеются там в наличии.

Затраты на приобретение запасных частей в промежутке времени между i -ым и $(i + 1)$ -ым ТОиР определяются количеством приобретаемых запасных частей $F_{6,i,j}^{приоб}$ и их стоимостью приобретения и доставки $q_{6,j}$

$$G_{6,i} = \sum_{j=1}^n F_{6,i,j}^{приоб} q_{6,j}. \quad (30)$$

Полная величина затрат на приобретение и доставку запасных частей в течение m работ по ТОиР определяется затратами на приобретение запасных частей в промежутках времени между ТОиР

$$G_{6,m} = \sum_{i=1}^m G_{6,i} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n F_{6,i,j}^{\text{приобр}} q_{6,j}. \quad (31)$$

В связи с тем, что все запасные части приобретаются у распределительной системы, то затраты на систему обеспечения запасными частями в течение m работ по ТОиР определяются затратами на приобретение и доставку запасных частей и общей величиной штрафов от простоев ко времени окончания m работ ТОиР

$$W_{6,m} = G_{6,m} + D_m = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n F_{6,i,j}^{\text{приобр}} q_{6,j} + \sum_{i=1}^m \int_0^{x_{0,i}} h_i(t) dt. \quad (32)$$

Чтобы сравнить различные варианты систем обеспечения запасными частями между собой в течение некоторого количества ТОиР для различных условий, подставляем эти условия в качестве начальных данных. Выполняя последовательные вычисления, определяем величину денежных затрат на системы обеспечения запасными частями, затраты времени в ожидании ТОиР, затраты времени на выполнение ТОиР, величину штрафов от простоев оборудования.

Для сравнения общих денежных затрат для разных вариантов систем обеспечения запасными частями в течение выполнения m ТОиР вычисляем для конкретных условий общие денежные затраты на приобретение, изготовление, хранение запасных частей и величину штрафов от простоев оборудования в течение времени выполнения этих m ТОиР. Эти вычисления осуществляются по формулам (12), (15), (23), (26), (29), (32).

Затем, сравнивая общие денежные затраты для разных вариантов систем, определяем, использование какой системы для конкретных условий менее затратно.