

зывается в основном наполненной. Это позволяет сократить до минимума болезненный этап начального наполнения БД, на котором объем работ персонала велик, а отдача от системы минимальна. Как следствие, развитие системы ЕАМ на предприятии происходит органически и "изнутри".

Как заметила еще 40 лет назад Е.С. Вентцель, "внедрение" в соответствии с толковыми словарями — это "проникновение чужеродного предмета в сопротивляющуюся среду". Лингвистический парадокс: этому так часто используемому у нас слову нет аналога в английском языке. Употребляемому в аналогичных ситуациях "implementation" ближе русское поня-

Кац Борис Арнольдович — канд. техн. наук, руководитель проекта ООО "АйТиЭм".

Контактный телефон (812) 329-45-60.

E-mail: bkatz@spectec.ru Http://www.itm.spb.ru, www.trim.ru

тие "освоение" — то есть делание своим. И так, чем раньше мы начинаем использовать систему ЕАМ, тем ближе оказываемся к идеалу "освоения" системы в противовес ее насильственному "внедрению".

Список литературы

1. *Комонок О.В., Антоненко И.Н.* Информационная система ТООР атомной станции // Автоматизация в промышленности. 2006. № 8.
2. *Антоненко И.Н.* Автоматизация управления ТООР сетей // Там же. 2008. №8.
3. *Матюшин В.А., Антоненко И.Н.* Автоматизация управления техническим обслуживанием и ремонтами на металлургическом предприятии // Там же. 2007. №9.

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СОСТАВЛЕНИЯ ГРАФИКА РЕМОНТОВ ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

Е.Е. Дудников (ИПУ РАН)

Рассматривается задача составления расписания планово-предупредительных ремонтов (ППР) промышленного оборудования на предприятиях с учетом общих ограничений наличного состава ремонтной службы, позволяющих провести все требуемые ремонты до конца планового периода. Для решения этой задачи предлагается алгоритм, автоматизирующий процедуру получения решения.

Ключевые слова: график планово-предупредительных ремонтов, автоматизация процесса составления графика, ЕАМ, алгоритм.

Введение

В [1] рассматривается задача составления графика планово-предупредительных ремонтов (ППР) заданных единиц оборудования предприятий на определенный отрезок времени (обычно месяц).

Для подобных задач должна представляться следующая информация:

- число и наименования подлежащих ремонту единиц оборудования;
 - приоритет ремонта каждой единицы оборудования;
 - типовой вид ППР каждой единицы оборудования.
- Для каждого типового вида ППР обычно известно:
- число необходимого для ремонта персонала;
 - нормативный срок проведения ремонта;
 - требования по материальному обеспечению ремонта (перечень запасных частей, комплектующих, инструмента и т.д.).

Задача заключается в составлении графика ППР на определенный заданный интервал времени с учетом ряда ограничений. В качестве ограничений в [1] указывается следующее:

- невозможность откладывания ППР любой выделенной для ремонта единицы оборудования на более поздний срок, выходящий за заданный интервал времени. Возможен только сдвиг ППР на более раннее время, чем заданный интервал;
- количественный наличный состав имеющегося ремонтного персонала;

- ограничения на проведение ремонтов определенных единиц оборудования, например, необходимость одновременного ремонта определенных единиц оборудования, жестко заданная последовательность ремонтов некоторых единиц оборудования и т.п.;
- желательность обеспечения равномерной по времени загрузки ремонтного персонала.

Следует отметить, что автоматическое решение задачи составления графика ППР на определенный период времени с учетом ограничений важно реализовать в рамках предлагаемых на рынке типовых систем автоматизации ЕАМ-систем (Enterprise Asset Management-Управление основными фондами предприятия). В [1] указывается, что планы проведения ППР обычно формируются диспетчерами ремонтных служб вручную с помощью, например, известного инструментального пакета Microsoft Office Project 2003.

В данной работе предлагается формулировка задачи составления графика ППР на определенный период времени с учетом ограничений и предлагается алгоритм, позволяющий автоматизировать процедуру получения решения.

Формулировка задачи

Рассмотрим следующую формулировку задачи расписания ремонтов.

Расписание составляется на период времени T (например, месяц), разбиваемый на k равных временных интервалов (например, дней), $i = 1, \dots, k$. За этот

период времени требуется провести n ремонтов. Прономеруем ремонты целыми числами от 1 до n . Для каждого j -го ремонта $j = 1, \dots, n$, задана длительность прохождения ремонта p_j , принимающая целочисленные значения, и численный состав персонала, необходимого для его проведения.

Планируемые ремонты должны быть завершены до конца рассматриваемого периода времени T .

В рамках решения данной задачи будем считать, что имеющийся в наличии ремонтный персонал способен обслуживать ремонты всех единиц оборудования, то есть не будем учитывать специализацию ремонтного персонала. Известно, что для проведения j -го ремонта длительностью p_j требуется m_j работников. Считается, что они заняты j -м ремонтом все время проведения этого ремонта p_j . На каждом i -м интервале планируемого периода времени общее число занятых работников не должно превышать заданную величину M . Будем называть эти последние ограничения ресурсными.

Первоначально будем предполагать, что все ремонты не отличаются приоритетами, все работы одинаково важны. Случай введения приоритетов будет рассмотрен особо. Требуется построить такое расписание ремонтов, которое при заданных ресурсных ограничениях позволяет на интервале времени T выполнить максимальное число ремонтов.

Данная задача входит в класс задач теории расписаний.

Предположим, что, решая задачу максимизации числа ремонтов при некотором заданном числе \hat{M} , получаем меньшее число выполняемых ремонтов n , чем требуемое число ремонтов n . Увеличивая величину привлекаемого ресурса, можем при некотором $\hat{M} > M$ добиться выполнения всех n ремонтов.

Рассчитаем нижнюю оценку величины \hat{M} , ниже которой задача проведения n ремонтов не будет иметь решения.

$$\bar{M} = (\sum_{j=1}^n m_j \times p_j) / k.$$

Если полученная величина не является целой, то необходимо округлить полученное число до ближайшего целого (сверху).

В данной задаче возможна ситуация, когда при заданном числе \hat{M} может существовать решение, позволяющее выполнить все n ремонтов за время L меньше, чем время T . Можно определить нижнюю границу для величины L .

$$\bar{L} = (\sum_{j=1}^n m_j \times p_j) / \hat{M}.$$

Естественно в такой ситуации найти расписание, минимизирующее величину L . В этом случае получаем резерв, который можно использовать для проведения внеплановых ремонтов или ремонтов, планируемых на следующий расчетный период времени.

Рассмотрим дополнительно еще некоторые определения. Если вдоль оси времени X отложить от нача-

ла координат длительность j -го ремонта p_j , а по оси Y – величину используемого ресурса m_j , получится прямоугольник, основание которого лежит на оси X , а верхняя сторона отстоит от основания на величину m_j . Назовем полученную фигуру ресурсным профилем j -го ремонта.

Каждое полученное расписание представляет собой последовательность ремонтов во времени, для изображения которой можно использовать диаграмму Ганта. Если на этой диаграмме изображение каждого ремонта заменить изображением его ресурсного профиля, а затем для каждого временного интервала просуммировать профили ремонтов, попадающих на этот интервал, то получится ресурсный профиль данного расписания. Верхняя образующая этого профиля имеет кусочно-линейный характер и состоит из вертикальных и горизонтальных отрезков.

Если необходимо решить задачу для n ремонтов на k временных интервалах при общем ограничении по ресурсам M , то геометрически это означает, что нужно построить такое расписание, ресурсный профиль которого не выходил бы из прямоугольника $M \times k$. Можно дать и другую геометрическую интерпретацию задачи. Для получения искомого расписания необходимо заполнить прямоугольную область $M \times k$ максимально возможным числом прямоугольных элементов, соответствующих заданным профилям планируемых ремонтов. В этой интерпретации исходная задача сводится к одному из видов классической "задачи о ранце", а именно, к максимальному заполнению двухмерного "ранца" прямоугольной формы (будем называть его в дальнейшем контейнером) отличающимися друг от друга по своим геометрическим размерам прямоугольными элементами с учетом некоторых ограничений по расположению этих элементов в контейнере. Назовем эту задачу двухмерной задачей о ранце с прямоугольными располагаемыми элементами и прямоугольным контейнером.

Для более эффективного выбора алгоритма решения исходной задачи рассмотрим другую эквивалентную формулировку задачи о ранце в виде задачи упаковки прямоугольных элементов на прямоугольной полубесконечной ленте (полосе) шириной M . Начальный торец ленты располагается на оси X , а левая сторона ленты – на оси Y .

Требуется минимизировать высоту ленты, занятой упаковками. При этом у пакуемых элементов p_j служит высотой элемента, а m_j – основанием, $j = 1, \dots, n$. Ограничения на расположение элементов на ленте связаны с тем, что элементы должны располагаться так, чтобы их высота была параллельна боковым сторонам ленты, элементы не пересекаются между собой, и запрещается поворот элементов на любой угол. Данную постановку задачи будем называть "ленточной" в отличие от предыдущей постановки, которую для краткости будем называть "контейнерной".

Для решения задачи как в "контейнерной", так и в "ленточной" постановке разработан ряд эффективных алгоритмов [2, 3].

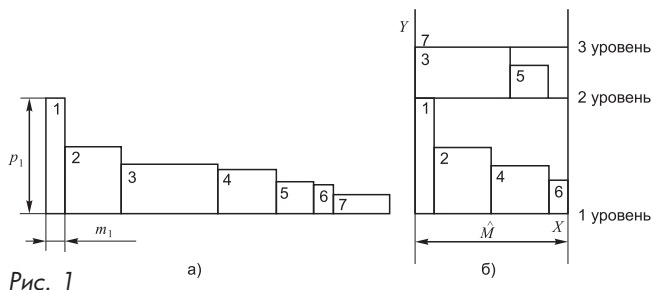


Рис. 1

Приближенный метод решения задачи

В данной работе для решения задачи используется приближенный однофазный алгоритм – "Уровневый алгоритм упаковки прямоугольных элементов на двумерной прямоугольной ленте", базирующийся на "ленточной" формулировке задачи [2, 4 – 6]. Согласно алгоритму пакуемые элементы располагаются в определенной последовательности, а затем размещаются на полубесконечной ленте заданной ширины. Геометрически начальный торец ленты лежит на оси X , а лента располагается вдоль оси Y . Элементы на ленте размещаются по уровням. Первый уровень совпадает с начальным торцом ленты. Положение последующих уровней определяется в процессе заполнения ленты. Расположение элементов по уровням производится в соответствии с выбранной стратегией алгоритма упаковки. В дальнейшем будем использовать вариант стратегии алгоритма с сокращением названием FFDH (First-Fit Decreasing Height – Упаковка специальной последовательности элементов с приоритетом первого уровня) [2]. Размещение элементов происходит в один проход, решение получается после размещения последнего элемента.

Рассмотрим используемый алгоритм более подробно.

- Первоначально строится последовательность R , в которой элементы расположены в соответствии с уменьшением высоты элементов p_j .

- Элементы, начиная с первого, последовательно пакуются на первом уровне ленты. Первый уровень совпадает с начальным торцом ленты. Первый элемент помещается на этом уровне в крайнем левом углу, и упаковка происходит слева направо.

- Очередной j -й элемент последовательности R , начиная со второго, пакуется на первом уровне крайним слева после уже упакованных там элементов, если он там умещается. В противном случае этот элемент вводится в новую последовательность неупакованных элементов R_2 , а на первом уровне продолжается упаковка последующих элементов последовательности R .

- В общем случае на k -м уровне элементы пакуются из последовательности неупакованных элементов, полученной на предыдущем $k-1$ -м уровне. Упаковка проводится по алгоритму первого уровня. Если на k -м уровне после упаковки не остается неупакованных элементов, то процесс упаковки заканчивается. Если имеется последовательность неупакованных элементов R_{k+1} , то образуется $k+1$ -ый уровень, на котором пакуется эта последовательность элементов.

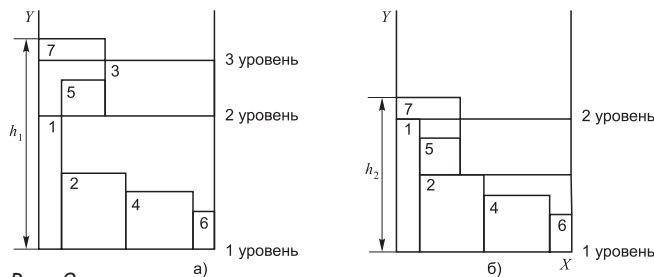


Рис. 2

- Уровень $k+1$ определяется верхней гранью самого высокого элемента k -го уровня. На $k+1$ -ом уровне производится упаковка элементов последовательности R_{k+1} .

- Процесс упаковки заканчивается, когда происходит размещение всех исходных элементов.

В настоящей работе предлагается некоторая модернизация исходного алгоритма, связанная с введением двух дополнительных этапов, позволяющих уплотнить расположение элементов на ленте.

- Изменение направления первоначальной загрузки элементов на четных уровнях (слева – направо) на противоположное направление (справа – налево).

- Уплотнение размещения элементов на ленте путем осуществления возможного вертикального сдвига верхних элементов на свободные места вниз. Сдвиг реализуется последовательно поэлементно, на каждом уровне слева – направо, начиная со второго уровня и заканчивая последним имеющимся уровнем.

Поясним применение алгоритма с помощью примера. Пусть на ленте необходимо разместить семь заданных элементов последовательности R (рис. 1, а).

Затем эти элементы последовательно пакуются на первом уровне ленты шириной M . Первый уровень совпадает с началом ленты (рис. 1, б). Элемент 1 из R располагается на этом уровне в углу ленты слева. Элементы 3, 5 и 7 не помещаются на первом уровне и образуют последовательность неупакованных элементов R_2 . Указанные элементы последовательно пакуются на втором уровне ленты. Этот уровень определяется верхней гранью самого высокого элемента первого уровня (элемента 1). При упаковке второго уровня элементами из R_2 на этом уровне не помещается элемент 7, который относится к последовательности R_3 и должен размещаться на третьем уровне. Третий уровень определяется верхней гранью самого высокого элемента второго уровня (элемента 3). После размещения элемента 7 на третьем уровне все элементы из R оказываются размещенными, и работа базового алгоритма на этом этапе заканчивается (рис. 1, б). Для уплотнения расположения элементов на ленте далее проводятся два дополнительных этапа:

- изменение направления (слева-направо) первоначальной загрузки элементов на втором уровне на противоположное направление (справа -налево) (рис. 2, а);

- осуществление возможного вертикального сдвига верхних элементов на свободные места вниз. Элементы 3 и 5 опускаются до уровня верхней грани элемента 2. Элемент 7 опускается до освободившегося второго уровня (рис. 2, б). В результате удается уменьшить высоту части ленты, занятой упаковками, с величины h_1 до h_2 .

Таблица

Приоритет	В	В	В	В	С	С	С	С	С	Н	Н	Н	Н
P_j	6	3	4	4	3	4	6	9	9	3	4	5	7
m_j	4	4	3	3	4	3	2	2	2	4	3	2	2

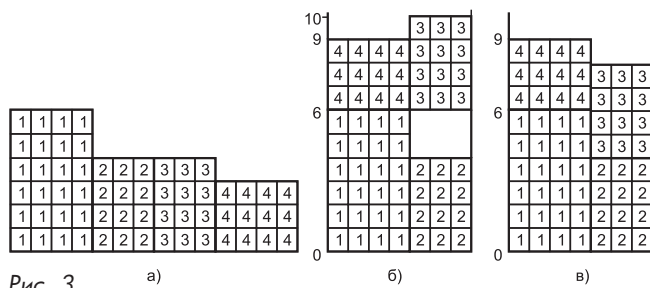


Рис. 3

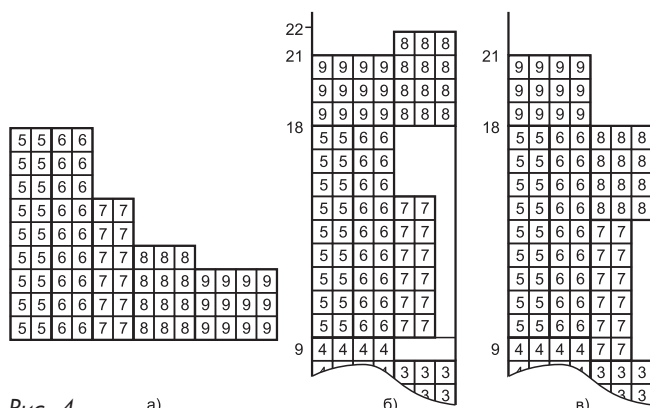


Рис. 4

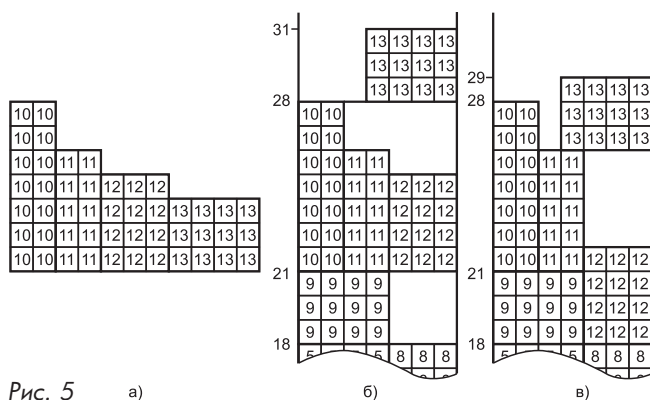


Рис. 5

Используемый для решения исходной задачи алгоритм является достаточно простым и демонстрирует хорошие результаты по заполнению прямоугольными элементами прямоугольной ленты.

Учет разных приоритетов ремонтов

Предположим, что все планируемые ремонты разделены на три группы: высшего, среднего и низшего приоритетов. Под приоритетом здесь понимается то, что ремонты более высокого приоритета имеют преимущества при распределении ресурсов. Выделение ресурсов на ремонты более низкого приоритета происходит только после надления ресурсами ремонтов более высокого приоритета.

Построим три последовательности элементов (ресурсных профилей), расположенных в порядке уменьшения высоты элементов отдельно для ремонтов высшего R_v , среднего R_m и низшего R_l приоритетов. Сначала с помо-

щью описанного в предыдущем разделе алгоритма пакуем элементы высшего приоритета, после этапа уплотнения пакуем элементы среднего, а затем низшего приоритетов. Начальным уровнем упаковки для элементов каждого приоритета служит уровень, достигнутый при расположении элементов предыдущего, более высокого приоритета.

Пример

Планируется проведение 13 ремонтов, разделенных на три приоритета (высший – В, средний – С, низший – Н), и имеющих параметры, указанные в таблице.

Общее время планирования $T = 30$. Ограничения на ресурсы на каждом интервале планирования заданы как $M = 7$. Проверка выполнимости задачи планирования показывает, что задача при заданном времени планирования и заданных ограничениях на ресурсы имеет решение: $M = 160/30 = 5,33 < 7$.

Далее приведены результаты расчета по ремонтам каждого приоритета.

Высший приоритет. На рис. 3, а показана последовательность ремонтов элементов высшего приоритета, построенная по данным таблицы. Ремонты расположены в порядке убывания длительности. На рис. 3, б даны результаты упаковки элементов на ленте до этапа уплотнения, на рис. 3, в – конечные результаты после уплотнения. Начальным уровнем упаковки является уровень, совпадающий с началом ленты (уровень 0).

Средний приоритет. На рис. 4 показаны аналогичные результаты расчетов для среднего приоритета: последовательность ремонтов (рис. 4, а), результаты упаковки элементов на ленте до этапа уплотнения (рис. 4, б), конечные результаты после уплотнения (рис. 4, в). Начальным уровнем упаковки является уровень, достигнутый на предыдущем этапе после уплотнения (уровень 9). На данном этапе после уплотнения достигнут уровень 21 (рис. 4, в). Элемент 7 опустился на единицу, а элемент 8 на четыре единицы вниз.

Низший приоритет. На рис. 5 показаны аналогичные результаты расчетов для низшего приоритета: последовательность ремонтов (рис. 5, а), результаты упаковки элементов на ленте до этапа уплотнения (рис. 5, б), конечные результаты после уплотнения (рис. 5, в).

Начальным уровнем упаковки является уровень, достигнутый на предыдущем этапе (уровень 21). После уплотнения элемент 12 опустился на три единицы, а элемент 13 – на две единицы вниз. На данном конечном этапе после уплотнения достигнут уровень 29.

Окончательный результат размещения всех элементов на ленте показан на рис. 6. Для удобства последующего построения диаграммы Ганта на рис. 6 результаты размещения элементов на ленте показаны в горизонтальной проекции. Удалось спланировать выполнение всех требуемых ремонтов за 29 интервалов (дней) вместо 30. Диаграмма Ганта проведения ремонтов для полученного размещения элементов имеет вид, представленный на рис. 7.

В [1] указывается, что планы проведения ППР обычно формируются диспетчерами ремонтных служб вручную, поэтому автоматическое решение задачи составления гра-

фика ППР на определенный период времени с учетом ограничений важно реализовать в рамках предлагаемых на рынке типовых систем автоматизации ЕАМ-систем.

Таким образом, в статье рассмотрен алгоритм, позволяющий автоматизировать процедуру составления графика ППР на определенный период времени с учетом ограничений. Этот алгоритм может быть полезен разработчикам ЕАМ-систем, на его основе может быть создан модуль автоматизированного расчета графика ППР.

Список литературы

1. *Ицкович Э.Л.* Методы автоматизации обслуживания оборудования предприятий по его фактическому состоянию // Промышленные АСУ и контроллеры. 2009. №8.
2. *Lodi A., Martello S., Vigo D.* Recent advances on two-dimensional bin packing problems. *Discrete Applied Mathematics* v. 123. 2002.
3. *Картак В.М., Месягутов М.А., Мухачева Э.А., Филиппова А.С.* Локальный поиск ортогональных упаковок с использованием нижних границ // Автоматика и телемеханика. 2009. №6.
4. *Coffman E.G., Garey M.R., Johnson D.E.* Performance bounds for level-oriented two-dimensional packing // *SIAM Journal of Computing*. 9. 1980.

Дудников Евгений Евгеньевич – д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник Института проблем управления РАН. Контактный телефон (495)334-76-40. E-mail: e_dudnik@ipu.

ПРОЦЕДУРЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА

**В.Р. Милов, И.В. Шалашов (НГТУ им. Р.Е. Алексева),
О.В. Крюков (ОАО "Гипрогазцентр)**

Предложена концепция управления состоянием технического объекта с применением прогнозирования, позволяющая повысить эффективность автоматизированных систем технического обслуживания и ремонта (ТОИР). Получен критерий эффективности прогнозирования состояния объектов. Предложен способ принятия решений о проведении процедур технической диагностики и подготовки к ремонту.

Ключевые слова: автоматизированные системы принятия решений, техническое обслуживание и ремонт, коэффициент технического использования, прогнозирование отказов.

Введение

Современные технические системы характеризуются высокой конструктивной и функциональной сложностью. Нарушение работоспособности системы в результате возникающих отказов влечет большие материальные затраты. Особенно это проявляется в больших системах, обеспечивающих жизнедеятельность населения, к которым относятся многие предприятия топливно-энергетического комплекса. Ущерб здесь носит не только материальный, но и социальный, экологический и даже политический характер. Снижение потерь от нарушения работоспособности может быть достигнуто с помощью автоматизации и оптимизации процедур ТОИР. Повысить эффективность ТОИР позволяет применение прогнозирования состояния объектов.

Способ управления техническим состоянием на основе прогнозирования

Предлагается способ управления техническим состоянием объекта на основе прогнозирования (рис. 1).

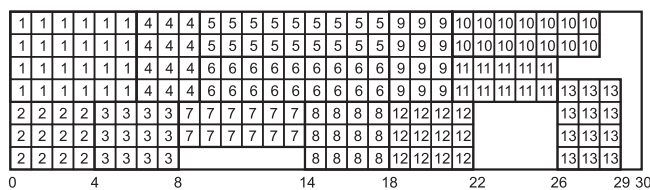


Рис. 6

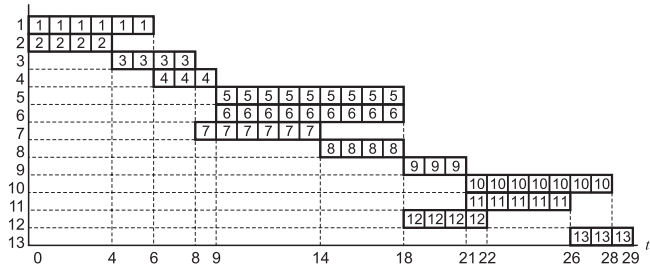


Рис. 7

5. *Coffman E.G., Shor P.W.* Packings in two dimensions: Asymptotic average-case analysis of algorithms // *Algorithmica*. 9. 1993.
6. *Lodi A., Martello S., Vigo D.* Heuristic and metaheuristic approaches for a class of two-dimensional bin packing problems // *INFORMS Journal on Computing*. v. 11. 1999. № 4.

Данные о состоянии технического объекта снимаются с датчиков и подаются на подсистему прогнозирования. Если формируется решение о наступающем отказе, подсистема ТОИР выполняет действия, направленные на: предотвращение отказов (включая комплекс мероприятий по обеспечению функционирования системы без прерывания) и минимизацию последствий отказа за счет подготовки к ожидаемому отказу, что позволяет сократить время ремонта и продолжительность неработоспособного состояния.

Известно множество методов, применяемых для прогнозирования отказов и основанных на определении



Рис. 1. Система управления состоянием технического объекта на основе прогнозирования