

ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ С КОНВЕЙЕРНОЙ СБОРКОЙ ИЗДЕЛИЙ

Хоботов Е.Н.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,

Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная д.65

e_khobotov@mail.ru

Аннотация: Рассматриваются задачи модернизации предприятий, в состав которых входит несколько производственных подразделений, изготавливающих комплектующие, и конвейеры для сборки выпускаемых изделий. Для их решения предлагаются модели, позволяющие выбирать оборудование для модернизации предприятий, чтобы позволить на предприятии изготавливать производственные задания за определённое время.

Ключевые слова: методы агрегирования, конвейерная сборка изделий, обработка деталей, комплектующие детали, узлы, агрегаты, модернизация

1 Введение

В настоящее время происходит ужесточение конкурентной борьбы и сокращение жизненного цикла производимых изделий. Это в свою очередь приводит к необходимости гораздо чаще обновлять выпускаемую продукцию и соответственно производить модернизацию промышленных предприятий.

Достаточно частое обновление выпускаемой продукции заметно особенно в автомобилестроительной промышленности, поскольку почти на всех ведущих автомобилестроительных предприятиях, по крайней мере, раз в каждые два - три года происходит запуск в производство новых моделей автомобилей. Это в свою очередь приводит к необходимости обновления и модернизации производства, на котором такие модели автомобилей должны будут выпускаться.

Удачный выбор оборудования в процессе модернизации предприятий позволяет создавать рентабельные и конкурентоспособные производства, а устранение ошибок и просчётов, связанных с выбором оборудования, уже в процессе работы предприятий может привести к дополнительным и во многих случаях весьма значительным расходам.

Для устранения возможных ошибок и просчётов в модернизации предприятий и выборе для этого наиболее подходящего оборудования ещё на стадии проектирования существенную поддержку могли бы оказать методы математического моделирования.

Действительно для выбора и замены оборудования производственных систем и участков при их модернизации были разработаны достаточно эффективно работающие методы и модели [1-3].

Однако эти модели и методы оказались практически непригодными для выбора и замены оборудования при модернизации предприятий, в состав которых входит несколько производственных подразделений. Это вызвано большой размерностью возникающих задач выбора оборудования, а также сложностью решения проблем по согласованию производительности всех подразделений предприятия. Без согласованной и сбалансированной работы всех подразделений будет очень сложно обеспечить ритмичную и эффективную работу предприятия.

В представленной работе описываются идеи и принципы построения моделей и методов выбора оборудования для модернизации предприятий с конвейерной сборкой выпускаемых изделий. В состав таких предприятий может входить несколько производственных подразделений и конвейеров. Наряду с описанием моделей и методов выбора оборудования предлагаются методы проверки работоспособности получаемых в процессе выбора оборудования схем модернизации, сравнения их работы и выбора из них наиболее подходящей.

2 Постановка задачи выбора оборудования для предприятий

Рассмотрим постановку задачи выбора оборудования, которая возникает при модернизации предприятий с дискретным характером производства и конвейерной сборкой выпускаемых изделий.

Пусть на предприятии имеется M производственных подразделений, в которых изготавливаются комплектующие, и R конвейеров для последующей сборки из них партий изделий разных типов. В m -м подразделении предприятия ($m = 1, \dots, M$) имеется \tilde{w}_{mj} единиц оборудования j -го типа (

$j = 1, \dots, \tilde{W}_m$). На предприятии выпускалось \tilde{L} типов изделий, сборка каждого из которых производилась на «своём» конвейере.

После изменений в номенклатуре и объёмах выпуска производимой продукции предприятие должно изготавливать L типов изделий, часть из которых выпускалась ранее, а часть может выпускаться после модернизации. Это связано с тем, что для изготовления ряда комплектующих для новых изделий на предприятии может не быть соответствующего оборудования. Комплектующие для сборки всех производимых изделий изготавливаются в подразделениях предприятия, а часть из них может закупаться на стороне. Типы закупаемых на стороне комплектующих известны.

Считаются известными количество изделий l -го типа N_l^v ($l = 1, \dots, L$), которые предполагается производить в производственном задании V после внесения изменений в номенклатуру и в объёмы выпуска производимой продукции, в течение заданного интервала времени T^* .

Для любого изготавливаемого изделия как ранее выпускавшегося, так и вновь осваиваемого считаются известными типы и количество комплектующих его деталей, узлов и агрегатов. Для каждого вновь осваиваемого изделия считается известным конвейер, на котором это изделие будет собираться. Если будет создаваться новый конвейер, то для него должны быть указаны изделия, которые предполагается собирать на этом конвейере. Для любого конвейера, имеющегося на предприятии или создаваемого, должно быть известно количество рабочих мест и время между смежными передвижениями конвейера при сборке каждого собираемого на нём изделия. Поэтому время сборки любой партии изделий на любом конвейере может быть вычислено. Все конвейеры на предприятии работают по последовательной схеме.

На каждом конвейере изделия собираются партиями, размеры которых ограничены. Ограничения на размеры партий вызваны значительным временем, которое потребуется для изготовления большого количества комплектующих, а также потребностью в наличии больших складов для их хранения, как в подразделениях предприятия, так и на рабочих местах конвейера.

Если на предприятии требуется изготовить количество изделий какого-либо типа, превышающее допустимую величину, то для таких изделий формируется необходимое количество партий. Размеры каждой из таких партий не должны превышать заданной величины. Эти партии собираются на конвейерах последовательно. Когда на конвейере последовательно собираются разные партии изделий одного типа, то конвейер не требуется переналаживать. Когда после завершения сборки изделий одного типа должна начаться сборка изделий другого типа, то производится переналадка конвейера на сборку соответствующей партии изделий. Время и затраты на переналадку каждого конвейера для сборки всех изделий и в том числе из новой производственной программы известны. На каждом конвейере собираются только «свои» изделия.

Пока на конвейерах собираются изделия одних партий, в производственных подразделениях предприятия должны изготавливаться комплектующие для сборки следующих партий.

Сборка любой партии изделий начинается после доставки на каждое рабочее место конвейера, как правило, одинакового количества комплектов комплектующих, изготовленных как в цехах предприятия, так и закупленных на стороне.

Для каждой комплектующей любого изделия из новой производственной программы, которая будет производиться на предприятии, должны быть известны технологические маршруты с последовательностью изготовления по подразделениям предприятия. В технологическом маршруте каждой комплектующей указываются времена обработки, переналадки оборудования и последовательность её изготовления на всем используемом оборудовании во всех подразделениях предприятия, в которых она изготавливается.

Если оборудование для изготовления комплектующей в подразделении ещё не выбрано или его на предприятии нет, то для такой комплектующей необходимо разрабатывать несколько технологических маршрутов с указанием времени и последовательности изготовления на каждом пригодном для этого оборудовании из заданного для подразделения множества оборудования. Кроме того, в таком технологическом маршруте необходимо указать марку и тип этого оборудования, что позволяет определять конкретное оборудование в результате выбора технологического маршрута при расчётах предлагаемой модели. Указываются также времена переналадки оборудования для изготавливаемых комплектующих. Подобная информация должна быть известна также об изготовлении узлов и агрегатов комплектующих выпускаемых изделий.

Приобретаемое оборудование для каждого подразделения предприятия m выбирается из заданного множества типов оборудования G_m ($m = 1, \dots, M$), в котором должно быть оборудование, позволяющие изготавливать все требуемые для сборки заданных изделий комплектующие.

В задаче требуется выбрать необходимое оборудование и избавиться от ненужного более оборудования таким образом, чтобы при выделенных средствах на модернизацию предприятия D обновлённая производственная программа предприятия, в которую включено заданное количество изделий каждого типа, могла быть изготовлена за время T^* .

3 Построение модели выбора оборудования

Для выбора оборудования при проведении модернизации предприятия предлагается процедура, в которой используются оптимизационная модель и методы построения расписания работ по изготовлению производственных заданий. С помощью оптимизационной модели производится выбор необходимого оборудования для модернизации предприятия на основе исходной информации выбранного задания из имеющегося набора заданий.

Целесообразность формирования набора заданий обусловлена тем, что предприятие после модернизации должно успешно выполнять поступающие заказы в течение достаточно длительного времени без дополнительных затрат на устранение просчётов и ошибок, допущенных из-за каких-то неучтённых факторов при проведении модернизации. Формируемые задания должны по возможности отражать типовые условия и характерные особенности будущей работы модернизируемого предприятия, а также сложные и «неудобные» для него задания.

Для каждого производственного задания из сформированного набора определяется состав оборудования для модернизации предприятия, который с распределением оборудования по подразделениям назовём схемой модернизации предприятия. После этого путём построения расписаний работ по выполнению различных заданий производится проверка работоспособности каждой сформированной схемы и сравнение их работы. Более подробно об этом будет сказано далее.

К сожалению, выбор оборудования при выделенных средствах D на модернизацию предприятия, и времени T^* , отведённом на его выполнение, не всегда возможен. В этом случае приобретённое на средства D оборудование не позволит изготовить выполняемое задание за время T^* . Дело в том, что заранее определить подходящие величины D и T^* для модернизации предприятия из-за изменения поступающих заданий очень сложно.

Однако полученная из решения этой задачи информация может оказаться весьма полезной. С её помощью можно достаточно точно оценить средства \tilde{D} , необходимые для закупки оборудования, чтобы обеспечить изготовление комплектующих за время T^* , а также оценивать времена T^* , в течение которых это задание может быть выполнено при выделении на модернизацию различных средств и в том числе указанных.

Для каждой схемы модернизации, если эта схема может быть сформирована при заданных величинах D и T^* , строится расписание работ по изготовлению производственного задания, для которого схема рассчитывалась. По результатам построенного расписания определяется возможность изготовления этого задания в течение заданного времени T^* .

Такая проверка необходима, поскольку в оптимизационных моделях пока не удаётся построить расписание работ и поэтому не удаётся ни определять, ни учитывать в полной мере вынужденные простои оборудования. Подобные простои практически всегда возникают при обработке деталей и заданий [4-6]. Они могут заметно увеличивать время изготовления комплектующих, и определить их удаётся только после построения согласованных расписаний изготовления комплектующих.

Если в результате построения расписания работ на предприятии оказалось, что изготовления задания не превышает заданного времени T^* , то схема запоминается и направляется на дальнейшую проверку.

В противном случае схема анализируется и на основе результатов анализа либо корректируется и после этого направляется на дальнейшую проверку, либо из дальнейшего рассмотрения исключается.

Перейдём теперь к рассмотрению оптимизационной модели выбора оборудования для схемы модернизации предприятия.

Для выбора оборудования, которое следует приобрести предприятию и от которого целесообразно избавиться, предлагается использовать оценки на время изготовления комплектующих для сборки в течение отведённого для этого времени T^* изделий из изменённой производственной программы.

Получения такой оценки удобно пояснить на диаграмме Гантта, представляющей сборку последних из выпускаемых изделий на каждом конвейере, следующего вида:

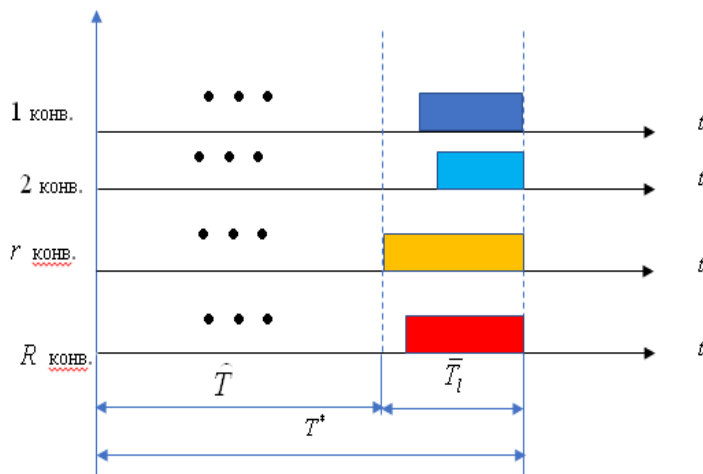


Рис. 1. Диаграмма сборки последних изделий из задания на разных конвейерах.

На этой диаграмме представлены ось ординат и перпендикулярно ей несколько осей абсцисс. По верхней оси абсцисс от отведенного времени на завершение заданной программы T^* откладывается время минимальной по длительности сборки партии изделий из этой программы, которые собираются на первом конвейере с учётом времени переналадки конвейера. По следующей оси абсцисс от времени T^* откладывается время минимальной по длительности сборки партии изделий, которые собираются на втором конвейере с учётом времени его переналадки, и т.д. Из времен сборки последних изделий для каждого конвейера с учётом времени его переналадки выбирается максимальная величина. Пусть это будет время минимальной длительности на r -м конвейере. Обозначим его через \bar{T}_r .

Тогда оценку на допустимое время изготовления комплектующих \hat{T} , чтобы изготовить заданную программу за время T^* можно определить из соотношения: $\hat{T} = T^* - \bar{T}_r$.

После получения оценки на время изготовления комплектующих \bar{T}_r производится выбор оборудования, которое надо приобрести предприятию для изготовления новой производственной программы.

Здесь хотелось бы напомнить, что, как уже отмечалось во Введении, выбор оборудования для модернизации предприятия методами, предложенными для выбора оборудования в производственных системах и участках, чрезвычайно затруднен и практически невозможен.

Если рассматривать предприятие как производственную систему, то при использовании этих методов возникает оптимизационная задача чрезвычайно большой размерности, которую решить существующими методами за разумное время не удаётся.

В связи с этим для решения этой задачи требуется разработка новых моделей и методов.

Рассмотрим принципы построения модели, которая позволяет выбирать типы и количество оборудования для модернизируемого предприятия со сборкой выпускаемых изделий на конвейерах.

Для выбора типов и количества необходимого оборудования предлагается использовать балансовые ограничения по времени, которые имеют следующий вид:

$$\sum_{l=1}^L \left\{ \sum_{v \in V_{jm}^l} \sum_{k \in K_{vj}^{lm}} \theta_v^{klm} n_{vl} t_{vj}^{klm} \right\} \leq y_{mj} \left(\hat{T} \eta_j^m - \sum_{l=1}^L \sum_{v \in V_{jm}^l} \tau_{vj}^{lm} \right) \mu_{jm}, \quad (1)$$

где V_{jm}^l – множество типов комплектующих l -го изделия, которые можно обрабатывать на j -м оборудовании m -го производственного подразделения по какому-либо технологическому маршруту, K_{vj}^{lm} – подмножество технологических маршрутов, по которым v -я комплектующая деталь l -го изделия может быть обработана на оборудовании j -го типа в m -м производственном подразделении ($K_{vj}^{lm} \subset K_v^{lm}$), K_v^{lm} – множество технологических маршрутов, по которым v -я комплектующая деталь l -го изделия может быть обработана в m -м производственном подразделении, θ_v^{klm} – переменные модели, n_v – количество комплектующих в v -й партии комплектующих l -го изделия, η_j^m – коэффициент, определяющий часть времени возможного использования оборудования j -го типа из m -го производственного подразделения в течение его работы, t_{vj}^{klm} – время изготовления v -й комплектующей l -го изделия на j -м оборудовании m -го производственного подразделения по k -му технологическому маршруту, τ_{vj}^{lm} – время переналадки оборудования j -го оборудования из m -го производственного подразделения для изготовления v -й комплектующей l -го изделия. Если на оборудовании j -го типа v -я комплектующая l -го изделия обрабатывается по нескольким технологическим маршрутам, то в качестве τ_{vj}^{lm} выбирается величина, равная $\max_k \{ \tilde{\tau}_{vj}^{klm} \}$, где $\tilde{\tau}_{vj}^{klm}$ – время переналадки оборудования j -го оборудования из m -го производственного подразделения для изготовления v -й комплектующей l -го изделия по k -у технологическому маршруту.

В левой части ограничения (1) представлено время, необходимое для обработки комплектующих для всех партий изделий из заданного производственного задания на оборудовании j -го типа в m -м производственном подразделении. Это время не должно превышать ресурс времени работы оборудования j -го типа из m -го производственного подразделения. Ресурс времени работы оборудования j -го типа равен количеству единиц оборудования y_{jm} , умноженному на время использования для обработки на нём комплектующих изделий из заданного производственного задания и на коэффициент загрузки оборудования μ_j^m .

Время использования этого оборудования не должно включать время его переналадок и необходимых профилактических работ, а также время простоев оборудования в ожидании поступления комплектующих. Произведение $\hat{T}\eta_j^m$, расположенное в скобках в правой части этого неравенства, определяет время полезного использования оборудования j -го типа из m -го производственного подразделения без времени проведения необходимых профилактических работ в течение интервала времени \hat{T} , отведённом для изготовления комплектующих.

Из времени полезного использования оборудования $\hat{T}\eta_j^m$ вычитается время $\sum_{l=1}^L \sum_{v \in V_{jm}^l} \tau_{vj}^{lm}$, затраченное на переналадку оборудования j -го типа в m -м производственном подразделении.

Коэффициенты загрузки оборудования μ_j^m позволяют [4-5] в некоторой степени компенсировать вынужденные простои оборудования. Однако даже при их наличии возникающие простои оборудования при обработке комплектующих могут заметно увеличить время изготовления

комплектующих. Время простоев оборудования в ожидании поступления комплектующих более точно можно определить только после построения расписания работ по изготовлению комплектующих.

Выбор технологических маршрутов изготовления комплектующих производится с использованием переменных θ_v^{klm} , на которые накладываются следующие ограничения:

$$\sum_{k=1}^{K_v^{lm}} \theta_v^{klm} = 1, \quad m = 1, \dots, M, \quad v \in V_{jm}^l, \quad l \in \bar{L}. \quad (2)$$

где \bar{L} – множество изделий из новой производственной программы, у которых в конструкции или в технологии изготовления комплектующих имеются изменения. Остальные обозначения определены выше.

Если V -я партия комплектующих l -го изделия может изготавливаться только по одному технологическому маршруту, выбранному из множества K_v^{lm} , то переменные θ_v^{klm} могут принимать значение либо 0, либо 1.

Если отдельные части этой партии могут изготавливаться по разным технологическим маршрутам, то на переменные накладываются следующие ограничения $0 \leq \theta_v^{klm} \leq 1$, а величина θ_v^{klm} показывает, какая часть этой партии комплектующих обрабатывается по k -му технологическому маршруту.

Здесь следует отметить, что для ранее изготавливаемых изделий, которые оказались включёнными в новую производственную программу, как правило, технологический маршруты обработки комплектующих уже имеются и работа по ним проводилась. Если такие маршруты изготовления комплектующих для таких изделий оказались подходящими и устраивают производителей, то новые маршруты для их разработки обычно не разрабатываются. Поэтому соответствующая им величина θ_v^{klm} будет равна 1, множество K_v^{lm} состоит из одного элемента, а ограничения вида (2) для них не включаются в модель.

Несколько технологических маршрутов обработки включаются в модель, когда обработка ранее изготавливаемых комплектующих по имеющемуся маршруту не устраивает, а также, когда для обработки вновь осваиваемых комплектующих необходимо выбирать оборудование.

В последнем случае с каждым технологическим маршрутом связывается не только тип, но и марка оборудования. Это позволяет выбирать для модернизации предприятия вместе с технологическим маршрутом обработки и конкретное оборудование.

Количество оборудования j -го типа y_{jm} связано с количеством оборудования того же типа \bar{y}_{mj} ($j \in G_m$), которое имелось в m -м ($m = 1, \dots, M$) подразделении до модернизации, а также с количеством оборудования \tilde{y}_{mj} , которое включается в состав подразделения, и с исключаемым из него количеством оборудования \hat{y}_{mj} следующим образом:

$$y_{mj} - \bar{y}_{mj} - \tilde{y}_{mj} + \hat{y}_{mj} = 0. \quad (3)$$

Средства, затраченные на приобретение дополнительного оборудования, без учёта средств, полученных от реализации ненужного оборудования, не должны превышать средства D , выделенные предприятию на проведение модернизации. Поэтому в модель включаются следующие ограничения:

$$\sum_{m=1}^M \sum_{j \in \bar{G}_m} (d_j \tilde{y}_{mj} - \tilde{d}_j \hat{y}_{mj}) \leq D + s_1, \quad (4)$$

где d_j – стоимость приобретения оборудования j -го типа, \tilde{d}_j – стоимость реализации оборудования j -го типа, которое более не требуется предприятию, s_1 – вспомогательные переменные, минимизируемые в целевой функции.

Функционал \tilde{J} , минимум которого определяется в данной модели, принимает вид:

$$\tilde{J} = \min \left\{ \alpha_1 \sum_{l=1}^L \sum_{j \in G_m} \sum_{v \in V_{mj}^l} \sum_{k \in K_{vj}^{lm}} (\theta_v^{klm} n_v \tilde{c}_{vj}^{klm}) + \alpha_2 \sum_{m=1}^M \sum_{j \in G_m} b_{mj} y_{mj} + \alpha_2 s_1 \right\}, \quad (5)$$

где α_1 и α_2 – весовые коэффициенты, \tilde{c}_{vj}^{klm} – затраты на изготовление комплектующей детали V -го типа для изделия l -го типа по k -у технологическому маршруту в m -м производственном подразделении предприятия, b_{mj} – стоимость обеспечения работы и обслуживания оборудования j -го типа в течение одного часа. Остальные обозначения определены выше.

Здесь следует отметить, что при расчётах этих модели нет необходимости получать точное целочисленное решение. Дело в том, что модели выбора оборудования (1)-(5) для модернизации предприятий, как правило, имеют весьма значительную размерность. Поэтому получение точного целочисленного решения для задач такой размерности существующими методами [7] займёт весьма и весьма значительное время. С другой стороны, почти все исходные данные в реальных расчётах являются приближёнными и не всегда удаётся точно оценить, с какой точностью они получены.

Кроме того, принятие решения о выборе схеме модернизации предприятия только на основе одного расчёта модели с одним набором исходных данных является крайне рискованным. Это может привести к очень большим дополнительным и ненужным затратам на исправление возникающих ошибок и просчётов при выборе оборудования в процессе работы предприятия.

В данной статье выбор оборудования и схем модернизации предприятия предлагается производить с использованием моделирования их работы при разных наборах исходных данных. Эти данные должны по возможности более полно отражать реальные производственные программы и задания, которые придётся выполнять на модернизируемом предприятии.

Если модель (1)-(5) при заданных D и \hat{T} имеет решение, то вспомогательные переменные s_1 должны быть равны нулю.

В этом случае в результате расчёта модели (1)-(5) определяется состав оборудования каждого производственного подразделения предприятия, т.е. схема модернизируемого предприятия.

Каждая полученная схема при заданных D и \hat{T} проверяется на возможность выполнения заданной производственной программы за отведённое для этого время T^* , а также на пригодность и эффективность работы.

Это связано с тем, что в приведённых выше моделях выбора оборудования не удаётся учитывать вынужденные простои оборудования, вызванные ожиданием деталей для обработки. Такие простои практически всегда возникают при обработке заданий [1-5], деталей и различных операций и могут заметно увеличить время их выполнения. Величины этих простоев заранее предсказать практически невозможно, поскольку они зависят от конкретно построенных расписаний работ. Для их определения необходимо строить расписание изготовления на предприятии комплектующих для сборки изделий заданной производственной программы с учётом времени их сборки. Более подробно принципы и методы построения расписания работ по изготовлению комплектующих на предприятиях рассмотрены в работе [6].

Если вспомогательные переменные s_1 оказались больше нуля, то в этом случае выбранное для модернизации предприятия оборудование y_{mj} , позволит изготовить комплектующие без учёта времени вынужденных простоев оборудования за время \hat{T} , но стоимость этого оборудования будет больше заданной величины D на величину s_1 .

В этом случае приведённая выше задача выбора оборудования при заданных D и T^* не будет иметь допустимого решения и для проведения модернизации предприятия придётся менять исходные данные и условия таким образом, чтобы у обновленной задачи появилось допустимое решение.

В некоторых случаях, особенно при малых величинах S_1 увеличение средств D , выделяемых на модернизацию, может привести к появлению допустимого решения модели. В тех случаях, когда выделяемые средства ограничены, приходится изменять производственную программу или сроки её выполнения.

Для получения допустимого решения модели могут увеличиваться сроки выполнения заданной программы или производиться её сокращение. Сокращение программы производится путем сокращения размеров изготовления каких-либо партий выпускаемых изделий или прекращения выпуска некоторых из них. Однако при изменении программы необходимо помнить, что на её основе производится выбор схемы модернизируемого предприятия. Поэтому изменение программы должно соответствовать ассортиментной политике предприятия, стратегии и планам его развития [5], а также целям модернизации предприятия, возможно и скорректированным.

После корректировки и выбора подходящих величин D и T^* , при которых модель (1)-(5) имеет решение и позволяет определить оборудование для схемы модернизации предприятия, производится проверка работоспособности полученной схемы.

Для проверки работоспособности полученной схемы предлагается строить расписание работ по выполнению производственного задания, для которого и выбиралось оборудование проверяемой схемы.

Рассмотрим принципы построения расписаний работ, по изготовлению комплектующих в производственных подразделениях предприятия, и сборки из них на конвейерах разных партии изделий.

Для построения таких расписаний в [1] был предложен подход, основанный на использовании методов агрегирования информации. Идея агрегирования информации для построения расписаний работ на предприятиях состоит в формировании из комплектующих выпускаемых партий изделий специальных групп комплектующих. В каждую такую группу включаются партии комплектующих, которые в одном порядке обрабатываются в производственных подразделениях предприятия.

При этом любая партия комплектующих группы может обрабатываться в каждом используемом для этого подразделении предприятия по «своему» технологическому маршруту. Такие группы в [1] были названы обобщёнными деталями, производственные подразделения предприятия – обобщёнными станками, а задача построения расписания работ на предприятии – как задача построения расписания обработки обобщённых деталей на обобщённых станках.

Подобное группирование позволяет существенно сократить размерность строящегося расписания и согласовать между собой расписания работ в различных подразделениях предприятия. Такое расписание в [1] было названо «каркасным» расписанием. Из-за значительного сокращения размерности для построения «каркасных» расписаний могут использоваться традиционные методы построения расписаний [4-6].

Распределение комплектующих по указанным выше группам для изделий каждого типа на предприятиях следует делать лишь при освоении выпуска новых типов изделий и корректировать состав групп после включения в производственную программу новых комплектующих или при изменении состава оборудования производственных подразделений.

Как уже отмечалось, в результате построения расписаний изготовления комплектующих, как правило, появляются вынужденные простои оборудования, которые могут привести к недопустимому увеличению времени выполнения заданной программы. В этом случае может потребоваться увеличение количества выбранного оборудования.

4 Сравнения и выбор лучшей схемы модернизации

Рассмотрим основные методы проверки работоспособности и сравнения работы собранных схем модернизации предприятия, а также методы выбора из них наиболее подходящей.

Проверка работоспособности собранных схем модернизации является весьма важной. Это связано с тем, что предприятие после модернизации должно успешно выполнять поступающие заказы в течение достаточно длительного времени без дополнительных затрат на устранение просчётов и ошибок, допущенных при проведении модернизации.

Для устранения по возможности большего количества ошибок и просчётов при модернизации предприятия, как уже отмечалось, предлагается формировать несколько схем модернизации, для которых оборудование может выбираться с помощью модели (1)-(5) при разных наборах исходных данных, а также путём комбинирования оборудования различных схем.

Для каждой из сформированных схем производится всесторонняя проверка работоспособности на большом количестве типовых и экстремальных заданий, полученных на основе сбора информации о предстоящей работе предприятия, а также анализ и сравнение работы различных схем модернизации.

Организацию проверок работы сформированных схем предлагается производить в соответствии с принципами, которые были изложены в [2].

Сначала на основе исследования и анализа условий будущей работы модернизируемого предприятия формируется достаточное количество плановых заданий, каждое из которых рассчитано на выполнение в течение определённого времени. Формируемые задания должны по возможности отражать типовые условия и характерные особенности будущей работы модернизируемого предприятия, а также сложные и «неудобные» для него задания. Обычно такие задания сводятся в долгосрочную производственную программу от полутора до двух лет, пример которой представлен в таблице 1.

Таблица 1.

	План выпуска I-й интервал	План выпуска II-й интервал	• • •	План выпуска M-й интервал
Партия 1	1400 шт.	1200 шт.	• • •	1050 шт.
...			• • •	
Партия P	900 шт.	750 шт.	• • •	800 шт.

Проверка каждой из отобранных схем модернизируемого предприятия производится путём моделирования работы схемы по изготовлению одной и той же производственной программы, включающей большое количество разнообразных заданий. В процессе моделирования работы каждой схемы строится расписание обработки заданий из такой программы и собирается информации об их выполнении. Расписание обработки каждого задания строится без учёта ограничений на время его выполнения.

В процессе «модельной» проверки работы всех отобранных схем модернизируемого предприятия, которая производится на большом количестве различных заданий, отражающих будущую работу предприятия, появляется возможность тщательно проверить работу каждой из сформированных схем. Кроме того, в процессе проверки имеется возможность собрать необходимую информацию о выполнении схемами разных заданий, позволяющую определить интересующие характеристики схем, выявить их достоинства и недостатки, а также возможно наметить пути усиления достоинств и устранения недостатков.

В качестве собираемой информации можно указать количество нарушений схемой времени, отведённого на выполнение каждого задания из сформированной программы, максимальную и среднюю величины нарушений схемой отведённого времени выполнения заданий и, суммарную величину таких нарушений. Кроме этой информации собирается информация о максимальной, минимальной и средней загрузке выбранного оборудования каждой схемы, о затратах на выполнение каждого задания и обслуживание выбранного оборудования, о простоях конвейера в ожидании комплектующих и т.д.

На основе такой «модельной» проверки и анализа собранной информации по выполнению значительного количества заданий оценивается, проверяется и анализируется работоспособность, пригодность и эффективность работы рассматриваемой схемы модернизируемого предприятия, выявляются просчёты и недостатки в её работе, проводится сравнение работы различных схем, а также выбор из них наиболее подходящей.

Часто сравнение работы различных версий подсказывает, как и за счёт чего можно расширить и усилить достоинства создаваемого объекта и каким образом можно устранить значительное количество его недостатков.

Одна из важнейших проблем выбора наиболее подходящей версии создаваемого объекта или изделия из имеющихся состоит в том, что обычно значения одних характеристик у какой-либо версии оказываются лучше, чем у других, а другие – хуже. Как правило, крайне редко существует такая версия, у которой все характеристики оказываются лучше, чем у других.

Для решения проблем выбора в таких случаях могут быть использованы идеи и методы принятия решений и многокритериальной оптимизации [8].

В этом случае собранные характеристики работы разных схем модернизации предприятия, из которых будет производиться выбор наиболее подходящей схемы, удобно рассматривать как критерии.

Наиболее подходящим для выбора лучшей схемы модернизируемого предприятия, на наш взгляд, является метод уступок [12].

Заключение

Предложенная процедура выбора оборудования для модернизации предприятий, проверки работоспособности полученных схем модернизации и выбора наиболее подходящей позволяет:

- достаточно быстро формировать различные схемы модернизации предприятия для разных наборов исходных данных;
- производить тщательную и всестороннюю «модельную» проверку работоспособности каждой отобранной схемы модернизации предприятия;
- производить в процессе проверок работоспособности отобранных схем модернизации предприятия сбор информации для последующего анализа их работы и определения характеристик;
- на основе анализа, собранных характеристик и работы отобранных схем произвести обоснованный выбор наиболее подходящей для модернизации предприятия.

Затраты времени на проведение всесторонней проверки работоспособности выбираемой схемы с помощью предложенных моделей и методов оказываются не совсем малыми. Однако они могут оказаться совсем незначительными по сравнению со временем и стоимостью устранения ошибок и просчётов, а также с упущенной прибылью в процессе работы неудачно модернизированного предприятия.

Литература

1. *Хоботов Е.Н.* Моделирование в задачах реинжиниринга производственных систем // Автоматика и телемеханика. – 2001. - № 8, 168-178 стр.
2. *Павлов К.С., Хоботов Е. Н.* Модели выбора и замены оборудования в производственных системах машиностроительных предприятий // Журнал «Автоматика и телемеханика». – 2015. - № 2, 125-140 стр.
3. *Павлов К.С., Мелкишев В.Н. Хоботов Е. Н.* Выбор оборудования для создания и модернизации производственных систем. Журнал «Автоматизация в промышленности». – 2015. - № 3, 56-58 стр.
4. *Brucker P.* Scheduling Algorithms. Leipzig: Springer – 2007.
5. *Jain A.S., Meeran S.* Theory and Methodology. Deterministic job-shop scheduling: Past, present and future // European Journal of Operational Research 113, (1999), pp. 390-434.
6. *Хоботов Е.Н., Ермолова М.А.* Агрегирование в задачах построения расписаний работ на предприятиях с конвейерной сборкой изделий // Автоматика и телемеханика. 2019, № 5, С. 118-130.
7. *Хачатуров В.Р., Веселовский В.Е., Злотов А.В. и др.* Комбинаторные методы и алгоритмы решения задач дискретной оптимизации большой размерности // М.: Наука, 2000.
8. *Моисеев Н.Н.* Математические задачи системного анализа // М.: Наука, 1981.