

С. Жаринов

## Об управлении производством сложных сборок

**Допустимые отклонения будут накапливаться однонаправленно – чтобы причинить максимум трудностей при сборке.**

*Закон Клипштейна<sup>1</sup>*

Часто приходится слышать:

– А какая, собственно, разница между «сложной» и «простой» сборкой? В чём проблема? Состав изделия известен, технологический процесс прописан, нормативы времени налицо. Забиваем в наш замечательный софт, нажимаем волшебную кнопку и получаем подробный график работ. Потом по каждой операции фиксируем исполнение. И всё тип-топ. Между прочим, ничем не отличается от управления изготовлением отдельных деталей.

Верю, что у вас не отличается. И даже не исключаю, что при массовом характере производства в этом есть какой-то смысл. Но никогда не видел, чтобы подобные подходы реально работали в условиях производства мелкосерийного или единичного. Возможно, плохо смотрел и что-то пропустил. Однако склоняюсь к другому объяснению.

Дело в том, что мелкосерийное производство предполагает управление в ситуации так называемой динамической сложности, обусловленной следующими ключевыми факторами:

- *во внешнем окружении* – нерегулярный спрос / небольшие партии (частые отмены, экстренные заказы, корректировки сроков и размеров);
- *во внутренней операционной среде* – высокая вариабельность процессов, существенная зависимость этапов обработки и нелинейность основных взаимосвязей (всегда что-то самое необходимое вовремя не пришло от поставщика, сломалось, потерялось или угодило в брак).

Причём детальное планирование здесь скорее вредит, чем помогает<sup>2</sup>. Да и то технически применимо только в тех случаях, когда имеется вся необходимая информация. Конечно, наличие операционных нормативов – плюс. Но нужно понимать, что их точность может составлять «три трамвайных остановки», особенно при единичном производстве. А если эти нормативы указаны не везде либо совсем отсутствуют? Бывает же так, что работают сразу по чертежам. А если у вас производство опытно-экспериментальное, где даже спецификации изделий (не говоря уже про технологии) могут формироваться и коррек-

тироваться прямо по ходу изготовления продукции? Что вы тогда «забьёте» в свой волшебный софт?

Типовые схемы организации и автоматизации бизнес-процессов управления производством, действительно, обычно не предполагают принципиальных различий между деталями (изготавливаемыми из одного исходного материала) и сборочными единицами или узлами (конструкциями, состоящими из нескольких элементов). Между тем, специфика последних часто проявляется в связи с необходимостью учёта перечисленных ниже особенностей:

- большого числа комплектующих (как изготавливаемых, так и закупаемых), иногда составляющего десятки, сотни, а то и тысячи наименований;
- наличия нескольких уровней сборки, на каждом из которых в качестве комплектующих могут выступать как материалы и детали (изготавливаемые либо закупаемые), так и сборочные единицы или узлы более низких уровней входимости;
- высокой применяемости отдельных комплектующих, – с точки зрения их входимости как в разные узлы, так и в одинаковые узлы, собираемые по разным заказам;
- создания обособленных подразделений (участков или цехов), предназначенных для выполнения сборочных операций<sup>3</sup>.

В машиностроении и приборостроении сборкой принято считать любое «образование соединений составных частей изделия»<sup>4</sup>. В этом смысле, скажем, процесс упаковки майонеза<sup>5</sup> в виде «образования соединения» из шести одинаковых ёмкостей с полезным продуктом, одной картонной коробки и одной этикетки тоже является сборкой<sup>6</sup>. Хотя и достаточно «простой». Такие компоненты, в свою очередь, могут поступать на следующий уровень сборки для «образования соединения», например, в составе двадцати одинаковых коробок, одного транспортного поддона и некоторого количества упаковочной плёнки. Перед нами типичное поточное производство и, вообще говоря, совсем не бичом Ньютона. Вопрос: что же тогда и зачем предлагается считать «сложной» сборкой? Ответ зависит, прежде всего, от так называемого «состава изделия», то есть от его спецификации (структуры) и маршрута изготовления.

## КОНСТРУКТОРСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ СОСТАВ

По определению стандарта MRP II, *спецификация* (bill of material, BOM) это «список всех сборочных единиц, полуфабрикатов, деталей и материалов, которые применяются в родительской сборочной единице, с указанием норм их расхода.<sup>7</sup>» Естественно, такой объект может иметь различные представления, в частности, многоуровневое. В отечественной нормативной базе есть аналогичная, хотя и более замысловатая, формулировка: *структура изделия* это «сово-

купность составных частей изделия и связей между ними, определяющих иерархию составных частей. ... Структура изделия обычно представляется в виде ориентированного ациклического графа, вершины которого соответствуют компонентам, а рёбра, соединяющие вершины, – отношениям (связям) между компонентами. Вершина, соответствующая изделию в целом, называется начальной вершиной.<sup>8</sup>» Короче говоря, ничего особенного: дерево и ... дерево, разве что повернутое на 90 или на 180 градусов. Но есть нюансы.

Рассмотрим для примера сборку гидронасоса типа НШ100<sup>9</sup>. Пусть список необходимых деталей состоит из 17 номенклатурных позиций (всего 30 штук, см. рис. 1). Прежде всего, заметим, что отсутствие хотя бы одной детали не позволит изготовить конечное изделие целиком, поэтому обеспечение большого числа комплектующих к моменту сборки требует применения специальных управленческих решений в верхних частях соответствующих производственных цепочек. Суть в том, что если по каждой из 30 деталей в отдельности каким-то образом можно будет гарантировать, скажем, 95-процентную готовность, то вероятность получения полной комплектации к заданному сроку составит  $(0,95)^{30} \approx 0,215$ , то есть всего 21,5%. Некоторые соображения по вопросу буферирования такого рода неопределённости представлены в конце настоящей заметки. А пока идём по главной повестке.

В приведенном по ссылке (<sup>9</sup>) видеосюжете все сборочные операции выполняются одним-единственным слесарем на одном рабочем месте. При этом – в соответствии с технологией – делается несколько промежуточных подборок,



Рис. 1. Внешний вид и комплектация гидронасоса НШ100 А-3 (правый).

так что спецификация конечного изделия в виде многоуровневого списка может выглядеть как на рис. 2. Здесь ~~доктор~~ конструктор / технолог прописал четыре «фантомных» сборочных узла (выделенных на рис. 2 красным цветом).

Хотя мог бы, вероятно, добавить ещё и пятый уровень, например, в результате ввода в структуру промежуточного изделия «Манжета радиального уплотнения в сборе» в составе собственно «Манжеты радиального уплотнения» и «Пластмассовой обоймы». А потом шестой – путём разделения верхнего уровня на два за счёт создания фантомного изделия «Насос в полусборе» (без сальника и стопора). Однако, независимо от причин выбора того или иного вида представления конструкторской спецификации (engineering BOM, eBOM) для одного и того же конечного продукта, очевидно, что с точки зрения управления производством в данном конкретном случае, скорее всего, будет вполне достаточно показанного на рис. 1 линейного списка.

В самом деле, несмотря на присутствие в технологии и соблюдение слесарем строгой последовательности выполнения сборочных операций, описывающая

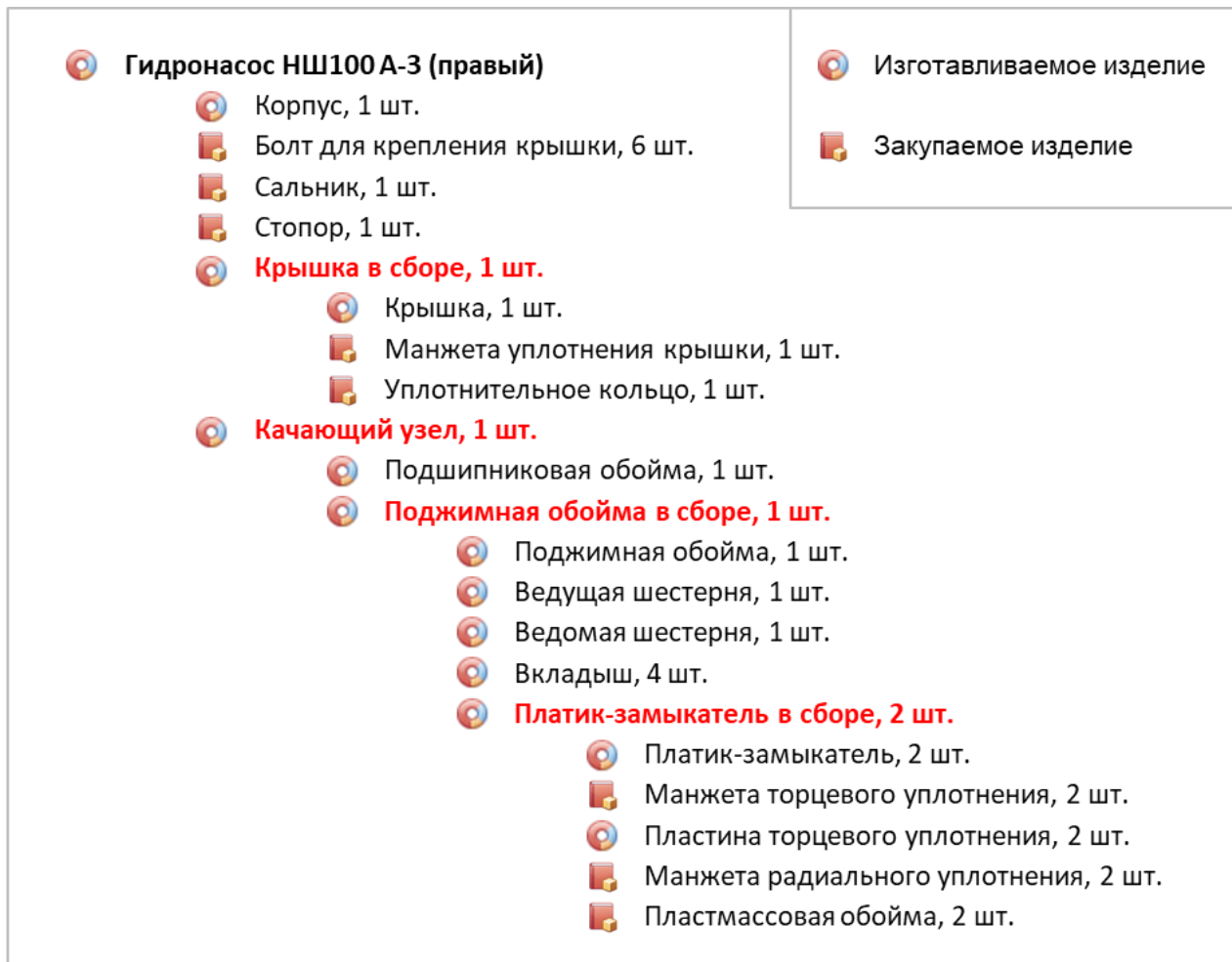


Рис. 2. Пример структуры гидронасоса с четырьмя уровнями входимости.

процесс изготовления маршрутная карта (bill of process, BOP) может содержать один «укрупнённый» этап общей сборки, регистрация начала и завершения которого имеет значение для контроля движения соответствующего материального потока. Поскольку весь процесс занимает около 10 минут (что наверняка как минимум на пару порядков короче характерных циклов реакции производства на клиентские заказы), то отслеживание в управляющей системе всех промежуточных подборок целесообразно только в тех случаях, когда эти изделия предполагается использовать как самостоятельные продукты (для продажи в виде запасных частей, в составе ремкомплектов и т.п.). В большинстве же других ситуаций дополнительные затраты и усилия по их сопровождению вряд ли окупятся выгодами от излишней детализации и приведут лишь к росту размеров информационного шума. Иными словами, при многоуровневой конструкторской спецификации изделия его *производственная структура* (manufacturing BOM, mBOM) может быть гораздо проще, а результирующий так называемый «*производственный состав*» (mBOM / BOP) для рассматриваемого гидронасоса может иметь вид как на рис. 3.\* В такой нотации участвуют оба

Гидронасос НШ100 А-3 (правый)		шт	СУ	
1	Общая сборка	РЦ1	100	
	- Манжета радиального уплотнения	2	шт	Д
	- Пластмассовая обойма	2	шт	Д
	- Манжета торцевого уплотнения	2	шт	Д
	- Манжета уплотнения крышки	1	шт	Д
	- Уплотнительное кольцо	1	шт	Д
	- Болт для крепления крышки	6	шт	Д
	- Сальник	1	шт	Д
	- Стопор	1	шт	Д
+	- Корпус	1	шт	Д
+	- Крышка	1	шт	Д
+	- Поджимная обойма	1	шт	Д
+	- Подшипниковая обойма	1	шт	Д
+	- Ведущая шестерня	1	шт	Д
+	- Ведомая шестерня	1	шт	Д
+	- Платик-замыкатель	2	шт	Д
+	- Пластина торцевого уплотнения	2	шт	Д
+	- Вкладыш	4	шт	Д




-  Изготавливаемое изделие
-  Закупаемое изделие
-  Этап обработки
- СУ** Сборочный узел
- Д** Деталь

Рис. 3. Пример одноуровневого производственного состава гидронасоса.

\* Здесь и далее в настоящей заметке для иллюстрации используется упрощённое представление составов изделий, принятое в управляющей системе LS12.<sup>3</sup>

типа информационных объектов (изделия и этапы обработки), описывающих движение материальных потоков в логистических цепочках.

Однако, гипотетически нельзя исключить другую организацию сборочного производства тех же самых гидронасосов либо каких-нибудь изделий со сходной структурой и, возможно, более длительными характерными циклами изготовления отдельных компонентов. Предположим, что сборочные операции выполняются на пяти связанных между собой специализированных рабочих центрах (РЦ, см. рис. 4), в качестве которых могут выступать как отдельные рабочие места (например, слесарные столы) с буферами-накопителями, так и целые бригады, участки или цеха со своими складскими хозяйствами и зонами ответственности исполнителей. При этом каждый рабочий центр – в полном соответствии с показанной на рис. 2 конструкторской спецификацией – выпускает мелкими партиями «собственные» сборочные узлы к рассматриваемому гидронасосу, а также – в зависимости от общих потребностей и планов предприятия – может изготавливать и иную продукцию.

С точки зрения управления производством ситуация усложняется, поскольку теперь для каждого рабочего центра нужно будет формировать, периодически обновлять и учитывать текущие приоритеты выполнения конкретных работ, в частности, откладывать либо форсировать изготовление тех или иных узлов насосов при корректировке сроков и/или размеров клиентских заказов либо изменениях во внутренней операционной среде. А для этого в соответствующей управляющей системе необходимо в реальном масштабе времени иметь

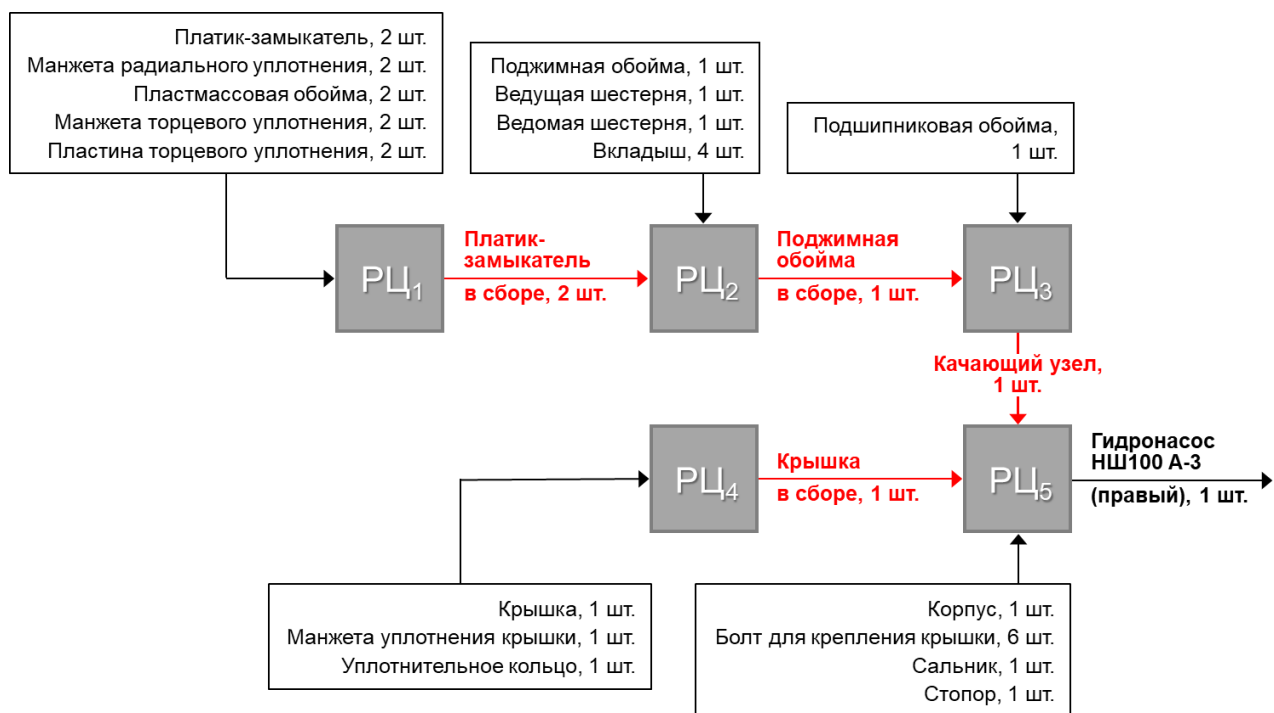


Рис. 4. Условная схема сборки гидронасоса на пяти рабочих центрах.

объективную картину происходящего на всех этапах сборки, включая состояние локальных запасов, – например, по данным регистрации поступления комплектующих на рабочие центры (в том числе и готовых узлов более низких уровней входимости с предыдущих сборочных переделов). В таком случае введение в производственный состав рассматриваемого гидронасоса всех указанных в конструкторской спецификации промежуточных подборок (см. рис. 5) представляется вполне резонным. Хотя теперь придётся поддерживать дополнительные информационные объекты сопровождения материальных потоков (и изделия, и этапы обработки), а также как минимум виртуальные входные и выходные места хранения запасов на всех рабочих центрах. В описанной ситуации подобное решение является логичным, но не единственным.

Гидронасос НШ100 А-3 (правый)		шт	СУ		
1	Окончательная сборка	РЦ5	100		
-	Болт для крепления крышки	6	шт	Д	
-	Сальник	1	шт	Д	
-	Стопор	1	шт	Д	
+	Корпус	1	шт	Д	
-	Качающий узел	1	шт	СУ	
1	Сборка узла 3	РЦ3	100		
+	Подшипниковая обойма	1	шт	Д	
-	Поджимная обойма в сборе	1	шт	СУ	
1	Сборка узла 2	РЦ2	100		
+	Поджимная обойма	1	шт	Д	
+	Ведущая шестерня	1	шт	Д	
+	Ведомая шестерня	1	шт	Д	
+	Вкладыш	4	шт	Д	
-	Платик замыкатель в сборе	2	шт	СУ	
1	Сборка узла 1	РЦ1	100		
-	Манжета радиального уплотнения	1	шт	Д	
-	Пластмассовая обойма	1	шт	Д	
-	Манжета торцевого уплотнения	1	шт	Д	
+	Платик-замыкатель	1	шт	Д	
+	Пластина торцевого уплотнения	1	шт	Д	
-	Крышка в сборе	1	шт	СУ	
1	Сборка узла 4	РЦ4	100		
-	Манжета уплотнения крышки	1	шт	Д	
-	Уплотнительное кольцо	1	шт	Д	
+	Крышка	1	шт	Д	




-  Изготавливаемое изделие
-  Закупаемое изделие
-  Этап обработки
- СУ** Сборочный узел
- Д** Деталь

Рис. 5. Пример многоуровневого производственного состава гидронасоса.

## УЗЛОВОЕ И КОНВЕЙЕРНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ

В конструкторско-технологическом понятийном аппарате отечественного машиностроения и приборостроения принято разделять сборки на узловые (когда изготавливаются составные части изделия, то есть сборочные единицы или узлы) и общие (когда изготавливается изделие в целом), а по организации производства – на несколько видов групповых и поточных.<sup>10</sup> Между тем, с точки зрения управления производством прежде всего важны не особенности конструкции или технологии изготовления конкретных изделий, а пути и структуры движения материальных потоков в цепочках поставок, элементами которых являются *процессы* и *места хранения* запасов. Причём имеются в виду не обязательно технологические, а, в общем случае, любые логистические или даже бизнес-процессы.

Поэтому предлагается различать «узловое» и «конвейерное» представление материального потока изготовления изделия в зависимости от сложности маршрутной карты в его производственном составе, где под *маршрутной картой* понимается упорядоченный линейный список процессов, соответствующих отдельным этапам обработки (то есть, совокупности некоторых действий или логистических операций, выполняемых на одном и том же рабочем центре из одного и того же набора применяемых материалов). Иными словами, если маршрутная карта содержит всего один этап обработки, то способ представления – *узловой*, в противном случае – *конвейерный*. В этом смысле в обоих вариантах производственного состава гидронасоса, показанных на рис. 3 и на рис. 5, использованы только узловые представления сборки всех компонентов и конечного изделия в целом.

Обычно принято считать, что поточная сборка «применяется в массовом, крупносерийном и серийном производстве, а также в мелкосерийном производстве крупных изделий большого веса»<sup>11</sup>. Хотя некоторые полагают, что в компаниях типа Тойоты повсеместно (включая сборочные конвейеры) работают мелкими партиями в потоках единичных изделий (*one-piece flow / single-unit production*)<sup>12</sup>. Не вдаваясь в дискуссию о границах применимости подобных подходов, замечу только, что почти 15 лет назад нашей команде приходилось выстраивать на одной из российских мебельных фабрик поточную линию сборки тумбочек с общим ассортиментом около 200 номенклатурных позиций по заказам размерами от 1 штуки (см. диаграмму на рис. 6); при этом по сравнению с действовавшей до того групповой организацией сборки производительность соответствующего подразделения выросла в разы.

Тумбочка – хоть и не суперсложное в изготовлении изделие, но всё же имеет многоуровневую конструкторскую спецификацию. Корпуса и ящики собираются раздельно, потом эти составные части «соединяются» между собой, а за-



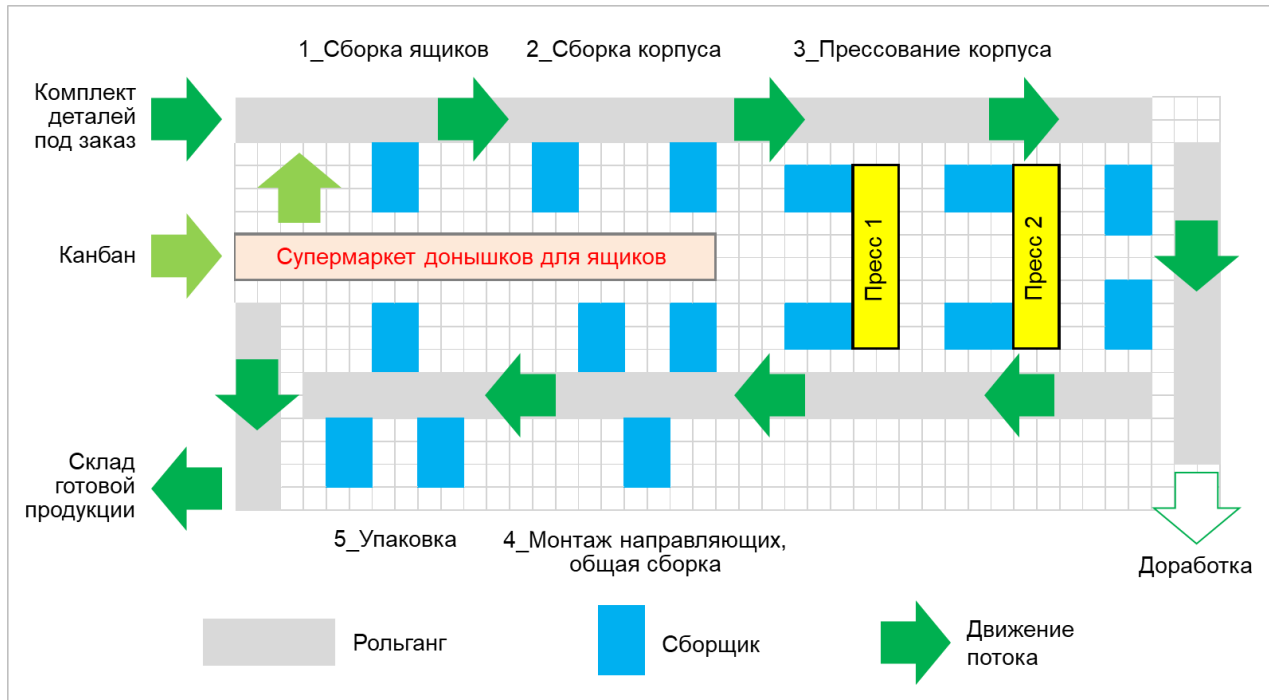


Рис. 6. Схема участка поточной сборки и упаковки тумбочек (СУТ).

тем и с упаковкой. Собственно, так оно делалось и раньше, да и показанная на рис. 6 поточная линия в явном виде содержит пять основных переделов, на каждом из которых трудится своё звено сборщиков. Однако, поскольку после перестройки все работники участка оказались в единой зоне ответственности, а полная сборка и упаковка одной тумбочки стала выполняться за 10-15 минут (в отличие от дней при старой групповой организации), то было принято решение упростить производственные составы в управляющей системе. В итоге в информационной модели остался один рабочий центр – участок СУТ в целом, на вход которого поступает полный комплект деталей под конкретные заказы (плюс на локальном месте хранения типа стеллажа-супермаркета поддерживается запас унифицированных доньшков для ящиков с пополнением по канбану), а на выходе сразу получается готовая продукция. Иными словами,

Тумбочка		шт	СУ
1	Сборка ящиков	СУТ	20
	- Комплект деталей под заказ	1	шт СУ
	- Доньшко для ящика	3	шт Д
2	Сборка корпуса	СУТ	20
3	Прессование корпуса	СУТ	20
4	Монтаж направляющих, общая сборка	СУТ	20
5	Упаковка	СУТ	20

- Изготавливаемое изделие
- Этап обработки
- Деталь
- Сборочный узел

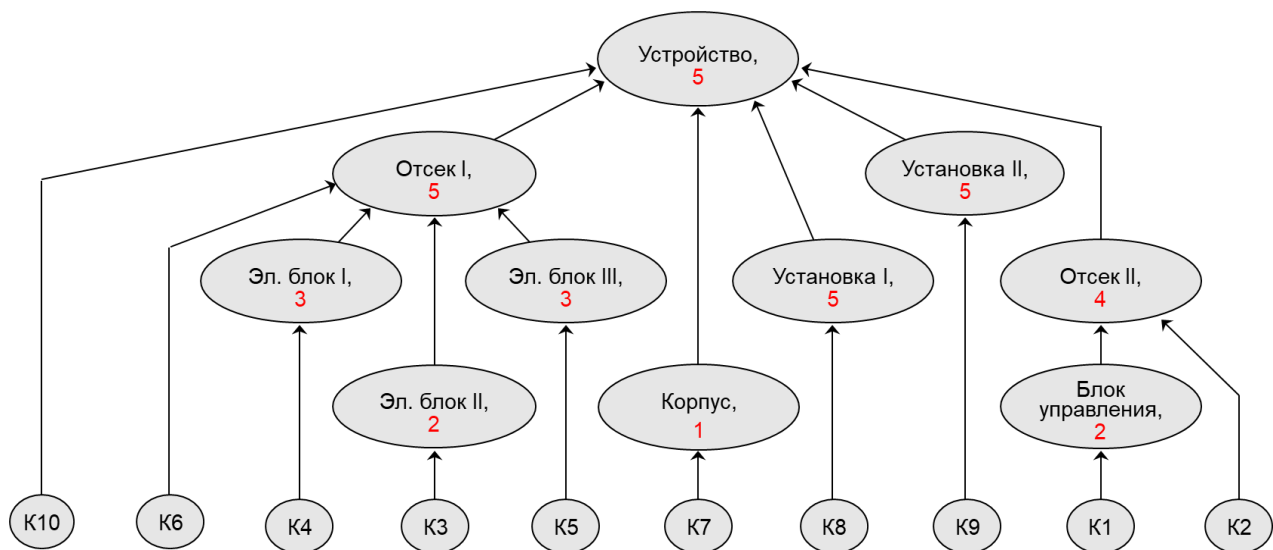
Рис. 7. Пример «конвейерного» представления сборки тумбочки.

был выбран вариант «узловой» маршрутной карты с одним укрупнённым этапом общей сборки. Хотя гипотетически мог бы эксплуатироваться и «конвейерный» способ представления, пример которого приведен на рис. 7.

А вот другая ситуация. Предприятие выпускает мелкими партиями различные исполнения некоторого устройства, состоящего из механических компонентов и электронных блоков, схема сборки которого на уровне крупных узлов показана на рис. 8, где для простоты приведены условные названия узлов. В данном случае в качестве рабочих центров выступают шесть участков, каждый из которых отвечает за сборку целого узла, причём на участках **2** и **3** изготавливают по два таких узла, а на участке **5** – три промежуточных узла и конечное изделие (номера участков выделены на диаграмме рис. 8 красным цветом). В состав устройства входит около тысячи номенклатурных позиций комплектующих, примерно половина из которых производится собственными заготовительными и механообрабатывающими подразделениями предприятия. При этом все узлы, как правило, имеют свои многоуровневые конструкторские сборочные спецификации, а самый нижний уровень входимости на рис. 8 образуют компоненты К1, К2, ..., К10, получаемые в результате формирования на специализированном участке **0** комплектов из соответствующих наборов применяемых деталей и сборочных единиц.

С точки зрения управления производством выбор степени детализации элементов описания материальных потоков предлагается делать на основе двух упомянутых выше критериев:

- ❖ *разделения производства на зоны административной и/или материальной ответственности исполнителей;* иными словами, целесообразно иметь в маршрутной карте изготовления изделия хотя бы один этап обработки в



Применяемые детали и сборочные единицы (участок комплектации 0)

Рис. 8. «Узловая» структура устройства с четырьмя уровнями входимости.

пределах каждой из таких зон (цехов, участков или, возможно, даже более мелких организационных единиц со своими центрами принятия решений);

- ❖ *характерного времени процессов*; то есть, вообще говоря, нет смысла плодить и размножать этапы обработки (особенно, в рамках одной и той же зоны ответственности) с циклами, на порядки короче тех, которые типичны для данного производства.

Кстати, отсюда немедленно следует, что применение в качестве маршрутных карт так называемых «маршрутных технологий» изготовления изделий (часто выгружаемых из специализированных программ технологической подготовки производства) в исходном виде вряд ли оправдано. Дело в том, что этапы обработки помимо технологических обычно содержат и другие логистические операции (приёмку, хранение, отгрузку, перемещение, оформление сопроводительной документации и т.п.), без выполнения которых этап нельзя считать завершённым. А что касается времени, то в условиях мелкосерийного производства (не говоря уже про единичное или опытно-экспериментальное) непосредственная обработка, как известно, занимает крайне незначительную долю фактической длительности производственных циклов. Поэтому сведения об операционных нормативах могут быть полезны разве что с целью прогнозной оценки загрузки лимитирующих ресурсов.

Исходя из сформулированных критериев, оптимальным был бы вариант, когда при заданной организации производства за каждой из зон ответственности закреплено по одному этапу обработки. В этом смысле приведенный на рис. 7 производственный состав тумбочки нельзя признать удачным. Во-первых, потому что по факту все сборочные компоненты поступают единым комплектом в самое начало потока. Во-вторых, все этапы обработки выполняются в пределах одной зоны ответственности (участка СУТ). В-третьих, при характерном времени реакции предприятия на клиентские заказы в 5-7 дней польза от управления на уровне этапов длительностью в минуты совсем не очевидна.

В качестве возражения часто ссылаются на «посты» конвейеров современных автозаводов, обслуживаемые одним или несколькими работниками одного и того же сборочного подразделения, движение потока между которыми (несмотря на короткие циклы выполнения операций в пределах отдельных рабочих мест) обычно строго фиксируется. Но в данном случае это логично, потому что фактически посты образуют самостоятельные зоны ответственности, – хотя бы по причине того, что на каждый из них должны вовремя подаваться все необходимые именно здесь комплектующие.

Другое дело – сборка показанного на рис. 8 устройства. Полное изготовление небольшой партии конечной продукции здесь занимает несколько недель, а по каждому из выделенных узлов характерные циклы составляют 5-10 дней. При

этом отдельные участки сборочного отделения представляют собой самостоятельные организационные единицы со своими локальными складами. Казалось бы, напрашивается традиционное «узловое» представление производственного состава типа показанного на рис. 9. В рамках такой информационной

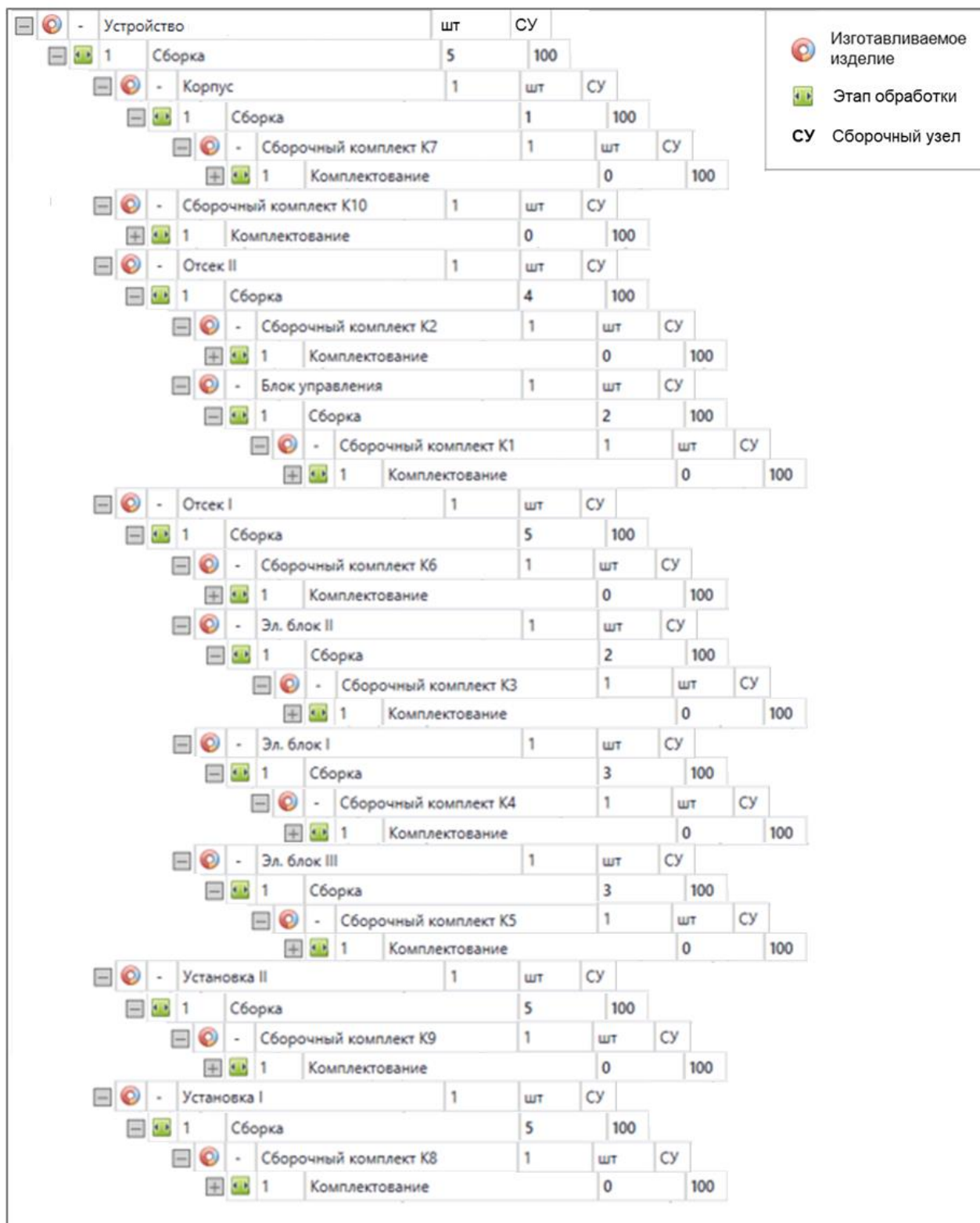


Рис. 9. «Узловое» представление производственного состава устройства.

модели материальные потоки фактически описываются в терминах складских операций. Грубо говоря, логистика этапа обработки «Сборка» на любом РЦ в данном случае состоит из трёх связанных элементов:

- (1) списание всех комплектующих собираемого узла с входного места хранения РЦ;
- (2) поступление собранного узла на выходное место хранения РЦ;
- (3) перемещение собранного узла на входное место хранения следующего по маршруту РЦ.

Не берусь утверждать наверняка, но сильно сомневаюсь в том, что информационное сопровождение материальных потоков между постами конвейеров современных автозаводов устроено похожим образом. Вряд ли поступающие на каждый пост «недоделанные» автомобили считаются самостоятельными единицами хранения. Зачем? Просто чтобы было что принять на входном складе, а с выходного – отгрузить? Какой смысл держать в запасах, скажем, «Изделие № 562 без двигателя, трансмиссии и кучи комплектующих, которые должны быть установлены на последующих этапах сборки»? Ещё со времён Генри Форда конвейер предназначен для максимально эффективного получения на выходе готового изделия. А на Тойоте, как говорят, – если что-то пошло не так (в частности, на какой-то пост вовремя не подвезли комплектующие), – то останавливают весь поток, называя это странным словом «andon».<sup>12</sup>

Если наше производство тоже работает не в режиме «план по валу – вал по плану», а нацелено на выпуск конечной продукции в установленные сроки, то в его управляющей системе должны быть средства и инструменты, способствующие достижению поставленной цели. Естественно, цели должна соответствовать и информационная модель материальных потоков.

А какой месседж несёт исполнителям производственный состав на рис. 9? Каждый узел важен сам по себе, сделал – положи на склад и отчитайся: «К пуговицам претензии есть? А за изделие в целом мы не отвечаем! Мы же не виноваты, что с соседнего участка вовремя не подали комплектацию. А что сами опоздали, то исключительно по объективным причинам.» В общем, так себе нарративчик. Даже для массового производства. Когда на Тойоте останавливается конвейер, об этом узнают все и сразу. А здесь доходит как до динозавра: заднюю половину тела уже съели (нижняя часть потока не работает), а передняя продолжает жить своей жизнью (в верхних частях потока как ни в чём не бывало гонят вал по плану).

Между тем, многоуровневый состав любого изделия всегда можно представить в виде совокупности вложенных друг в друга логических «конвейеров». Поскольку между любыми двумя вершинами дерева (как связного ацикличес-

кого графа) существует всего один-единственный путь, то соответствующий алгоритм выглядит следующим образом:

- п.1. Выбираем любую висячую вершину дерева (в нашем случае один из сборочных комплектов К1, К2, ..., К10), прокладываем путь между ней и начальной вершиной (конечным изделием), и фиксируем этот путь в качестве «главного конвейера».
- п.2. Если все висячие вершины дерева уже вошли в сформированные ранее конвейеры, то построение завершено. В противном случае переходим к п.3.
- п.3. Выбираем любую из оставшихся висячих вершин дерева, прокладываем путь между ней и начальной вершиной, и в качестве «вложенного конвейера» фиксируем ту его часть, которая не совпадает с уже сформированными ранее конвейерами; затем переходим к п.2.

Один из возможных вариантов построенной таким способом «конвейерной» структуры нашего устройства показан на рис. 10. В данном случае была выбрана последовательность обхода висячих вершин дерева в порядке возрастания номеров сборочных комплектов.

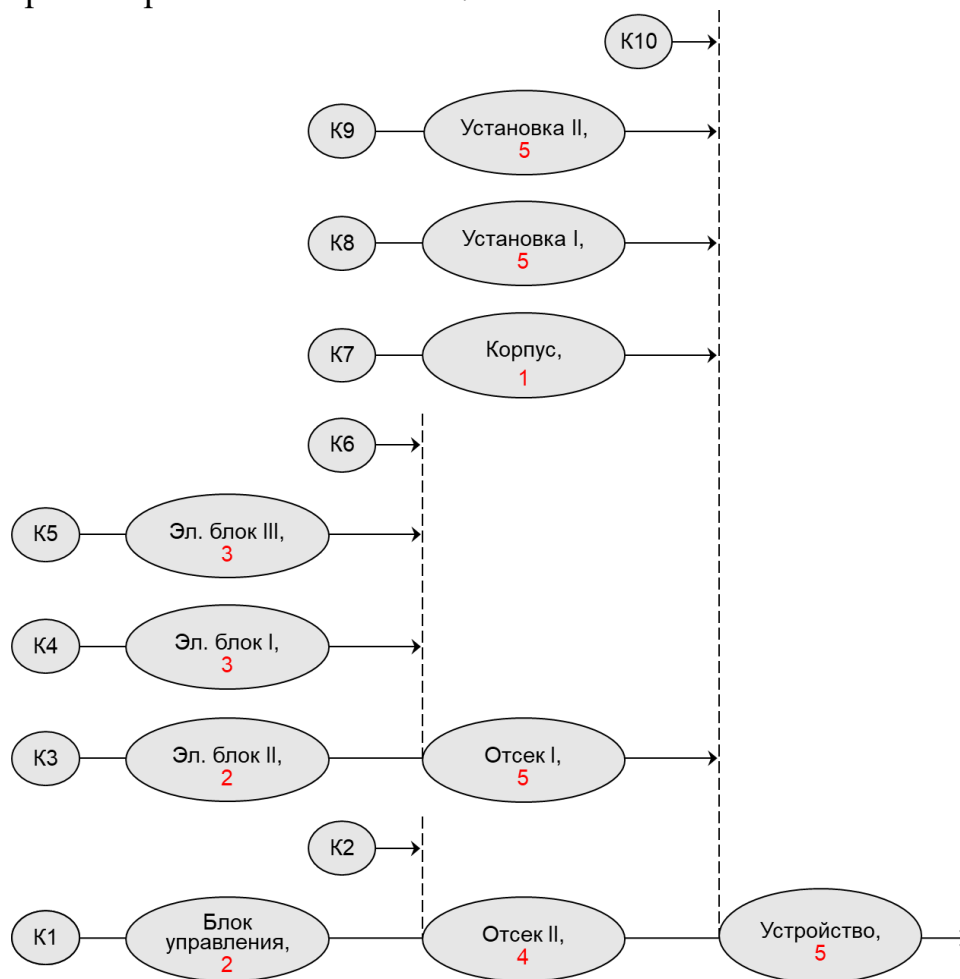


Рис. 10. Пример «конвейерной» структуры устройства.

№ потока	№ этапа	Название этапа	Участок	Комментарий	Цикл (дни)	θ (%)
1	1	Комплектование блока управления, К1	0	Главный конвейер	30	5
	2	Сборка блока управления	2			45
	3	Сборка отсека II	4			30
	4	Общая сборка устройства	5			20
2	1	Комплектование отсека II, К2	0	Конвейер обеспечения 2	3	100
3	1	Комплектование эл. блока II, К3	0	Вложенный конвейер 1-1	15	10
	2	Сборка эл. блока II	2			60
	3	Сборка отсека I	5			30
4	1	Комплектование эл. блока I, К4	0	Вложенный конвейер 2-1	9	25
	2	Сборка эл. блока I	3			75
5	1	Комплектование эл. блока III, К5	0	Вложенный конвейер 2-2	9	25
	2	Сборка эл. блока III	3			75
6	1	Комплектование отсека I, К6	0	Конвейер обеспечения 6	3	100
7	1	Комплектование корпуса, К7	0	Вложенный конвейер 1-2	9	25
	2	Сборка корпуса	1			75
8	1	Комплектование установки I, К8	0	Вложенный конвейер 1-3	9	25
	2	Сборка установки I	5			75
9	1	Комплектование установки II, К9	0	Вложенный конвейер 1-4	9	25
	2	Сборка установки II	5			75
10	1	Комплектование устройства, К10	0	Конвейер обеспечения 10	3	100

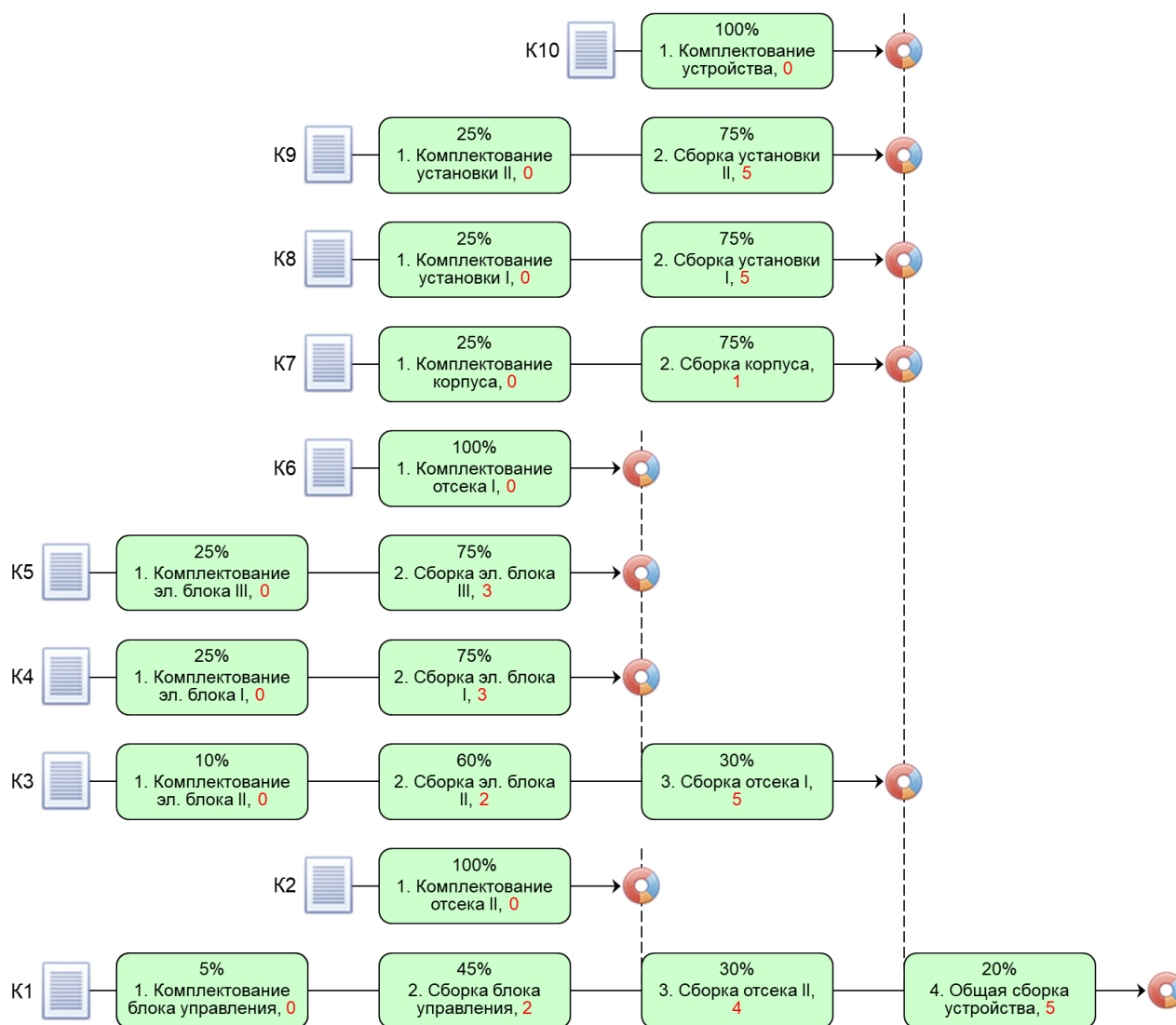


Рис. 11. Исходные данные и схема «конвейерной» сборки устройства.

Наконец, для получения «конвейерного» представления производственного состава заменяем все узлы в структуре устройства на этапы их комплектования и/или сборки, а информационными объектами-изделиями оставляем только выходные узлы потоков. Результат приведен в виде диаграммы на рис. 11, где в качестве применяемых материалов на входе каждого из потоков указан список деталей и сборочных единиц соответствующих комплектов К1, К2, ..., К10. Как видно из сравнения нового «конвейерного» состава (см. рис. 12) с показанным на рис. 9 «узловым», вместо прежних 40 объектов (записей) для описания информационной модели сборки нашего устройства теперь доста-

Устройство		шт	СУ		
+	1	Комплектование блока управления, К1	0	5	
	2	Сборка блока управления	2	45	
-	3	Сборка отсека II	4	30	
-	-	Сборочный комплект К2	1	шт	СУ
+	1	Комплектование	0	100	
-	4	Общая сборка устройства	5	20	
-	-	Корпус	1	шт	СУ
+	1	Комплектование корпуса, К7	0	25	
	2	Сборка корпуса	1	75	
-	-	Сборочный комплект К10	1	шт	СУ
+	1	Комплектование	0	100	
-	-	Отсек I	1	шт	СУ
+	1	Комплектование эл. блока II, К3	0	10	
	2	Сборка эл. блока II	2	60	
	3	Сборка отсека I	5	30	
-	-	Сборочный комплект К6	1	шт	СУ
+	1	Комплектование	0	100	
-	-	Эл. блок I	1	шт	СУ
+	1	Комплектование эл. блока I, К4	0	25	
	2	Сборка эл. блока I	3	75	
-	-	Эл. блок III	1	шт	СУ
+	1	Комплектование эл. блока III, К5	0	25	
	2	Сборка эл. блока III	3	75	
-	-	Установка I	1	шт	СУ
+	1	Комплектование установки I, К8	0	25	
	2	Сборка установки I	5	75	
-	-	Установка II	1	шт	СУ
+	1	Комплектование установки II, К9	0	25	
	2	Сборка установки II	5	75	



 Изготавливаемое изделие  
 Этап обработки  
**СУ** Сборочный узел

Рис. 12. «Конвейерное» представление производственного состава устройства.



точно только 30, причём соотношение изделий и этапов обработки изменилось с 20:20 на 10:20, то есть сместилось в сторону сопровождения процессов. Но главное – не в сокращении числа учётных операций, а в качественно ином целеполагании. Так, главный конвейер в новой конфигурации образуют четыре сборочных «поста» (участки **0**, **2**, **4** и **5**), каждый из которых теперь работает не на выпуск отдельных узлов (с целью положить их на склад и отчитаться за результат), а реализует свою «долю» участия в общем процессе изготовления конечного изделия. Конечно же, реорганизация производства требует и изменения алгоритмов управления.

## ПЛАНИРОВАНИЕ

Почему-то многие считают, что планирование мелкосерийного производства – дело чрезвычайной сложности. Мне кажется, подобное мнение основано на недоразумении и подмене понятий.

Прежде всего, что такое «планирование»? Не вдаваясь в обсуждение нюансов различных определений (в одном только стандарте MRP II используется несколько десятков связанных с данным термином словосочетаний<sup>7</sup>), важно понимать, что в общем случае это распределение некоторых ресурсов, наличие которых у вас предполагается в будущем. Обычно при управлении производством интересуются так называемым «календарным планированием», то есть распределением ресурсов *во времени* между работами, которые необходимо будет выполнить для изготовления какой-нибудь продукции. Например, если работа занимает  $T_0$  времени и её требуется завершить к заданному сроку  $T_2$ , то самая поздняя плановая дата начала такой работы, очевидно, определяется как  $T_1 = T_2 - T_0$ . Это почти всё, что нужно знать по сути рассматриваемого вопроса. На остальное, – включая заклинания о магической силе комбинаторных методов многокритериальной оптимизации для сотен станков и тысяч деталей операций в условиях взаимозависимости отдельных работ и ограниченности ресурсов, – серьёзного внимания обращать не стоит.

Потому что существует эффект под названием «вариабельность». И из-за этой самой вариабельности время  $T_0$ , как правило, неизвестно. Точнее, при мелкосерийном производстве оно меняется от случая к случаю в достаточно широких пределах, а при единичном и опытно-экспериментальном – часто устанавливается методом «пальцем в небо». Следовательно, столь же неопределённым оказывается и плановый срок  $T_1$ . Можно сколько угодно спорить о достоинствах и недостатках волшебных кнопок в различных программах расчёта так называемых «производственных расписаний» (как одного из видов календарных планов), но факт остаётся фактом: в качестве исходных данных на вход соответствующих алгоритмов подаётся информационный шум, так что было бы странно ожидать на выходе что-то иное кроме того же самого шума.

Предположим, что вы бросаете некий предмет с вершины Пизанской башни, высота  $h$  которой составляет примерно 56 метров. Вопрос: когда этот предмет нужно отпустить в свободное падение, чтобы он коснулся земли к заданному моменту времени  $T_2$ ? Ответ  $T_1 = T_2 - T_0$ , где  $T_0 = \sqrt{2h/g} \approx 3.38$  сек., – неправильный. И дело здесь не в сотых или даже десятых долях округлений. При  $h = 50$  метров получится  $\approx 3.2$  секунды, а при  $h = 60$  метров  $\approx 3.5$  секунды. То есть за 4 секунды долетит наверняка? Вряд ли. Точнее, зависит от предмета. Тяжёлый камень (массовое производство), скорее всего, долетит. А вот лист бумаги (мелкосерийное) точно нет. Сколько времени он будет болтаться в воздухе? 10 секунд? 3 минуты? А при каких-то особых обстоятельствах его целых полчаса будет носить ветром по окрестностям. Определяется текущим состоянием (вариабельностью) окружающей природной среды. Бессмысленность ориентации на оценки, полученные в условиях безвоздушного пространства (при отсутствии вариабельности), в данном случае совершенно очевидна.

Теперь представим себе физический конвейер с десятью постами, работы на каждом из которых выполняются ровно за 10 секунд, и мгновенными переходами между ними. С целью обеспечения максимальной производительности размер такта, разумеется, тоже устанавливаем на уровне 10 секунд. В результате цикл изготовления одного изделия составляет 100 секунд. А если вариабельность операционного времени – как при падении листа бумаги с Пизанской башни? Пусть, например, продолжительность каждой операции описывается экспоненциально распределённой случайной величиной со средним значением 6 секунд, то есть за 10 секунд каждая работа будет выполнена с вероятностью примерно 80%. В подобной ситуации при времени такта 10 секунд конвейер на Тойоте за каждый цикл работы будет останавливаться хотя бы один раз с вероятностью  $(1 - 0.8^{10}) \approx 90\%$ , то есть практически на каждом изделии. Сократить эту вероятность, скажем, до 20% при той же вариабельности процессов можно за счёт увеличения времени такта до 23 секунд, что соответствует квантили распределения  $\text{Exp}(1/6)$  уровня 97.8% ( $1 - 0.978^{10} \approx 20\%$ ). Однако фактическое время прохождения изделия по всему конвейеру в таком случае составит не менее  $23 \times 10 = 230$  секунд.

*(Спойлер.* Как известно, сумма  $k$  экспоненциально-распределённых независимых случайных величин со средним значением  $\mu$  имеет гамма-распределение с параметрами  $k$  и  $\mu$ . На рис. 13 справочно показана серия графиков функции  $\Gamma(k, 6)$  для значений  $k$  от 1 до 10. Там же на врезке приведен график плотности вероятностей  $\text{Exp}(1/6)$  исходной случайной величины со средним значением 6.)

При этом реально затраченное суммарное время на выполнение всех операций с вероятностью 95% не превысит 94 секунд (см. рис. 13). Иными словами, при величине такта работы конвейера 23 секунды посты почти наверняка будут простаивать не менее 60% всего отведённого времени ( $230 - 94 = 136$  из 230 се-

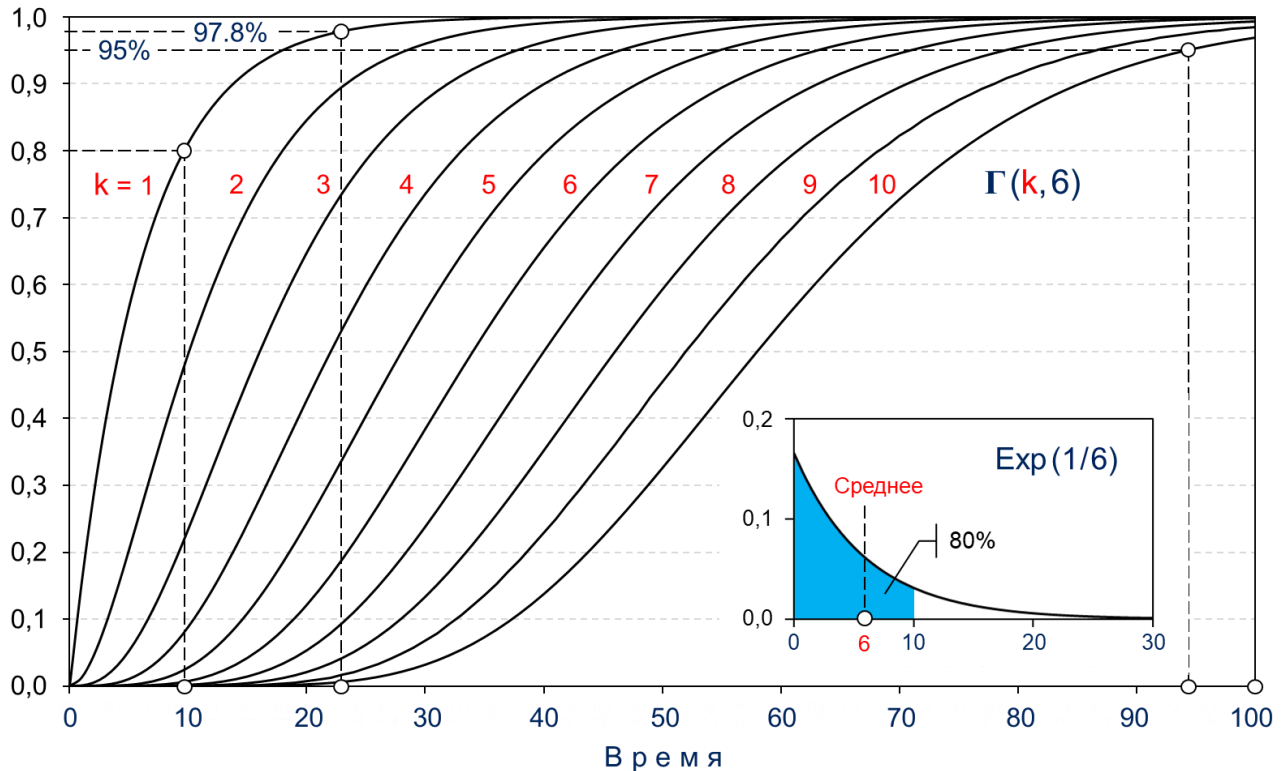


Рис. 13. Функция распределения суммы  $k$  случайных величин  $t \sim \text{Exp}(1/6)$ .

кунд) при среднем простое  $\approx 74\%$  ( $230 - 60 = 170$  из 230 секунд). В таком решении усматривается только один (да и то очень сомнительный, с моей точки зрения) положительный момент: на основе заданных операционных нормативов (23 секунды на каждую работу) для всех постов можно построить более-менее «реалистичное» производственное расписание. И если у вас завод по составлению детальных планов, то это как раз ваш случай.

Но если у вас завод по производству какой-нибудь полезной продукции, и вы хотите за минуту выпускать не  $60/23 \approx 2.6$  изделий, а, скажем, в среднем почти в два раза больше, то даже при умеренной вариабельности процессов (напомню, для экспоненциального распределения коэффициент вариации равен 1.0) от производственных расписаний придётся отказаться. Означает ли это, что у вас не будет календарного планирования? Нет, не означает. Просто нужно изменить организацию потока так, чтобы переходы между постами происходили не синхронно по времени такта (то есть по заранее составленному расписанию), а по мере выполнения операций на каждом из постов в отдельности. И строить *не* *детальный* календарный план (на каждое рабочее место), а *укрупнённый* (на весь процесс в целом). На рис. 14 показана гистограмма распределения общего времени прохождения изделия по всему конвейеру из десяти постов, — при условии, что запуск производится в среднем каждые 12 секунд. С учётом ожиданий в очередях на промежуточных этапах среднее значение в данном случае составляет 120 секунд, а за 230 секунд цикл будет завершён с вероятностью более 99%.<sup>13</sup> Так что если изделие требуется выпустить к задан-

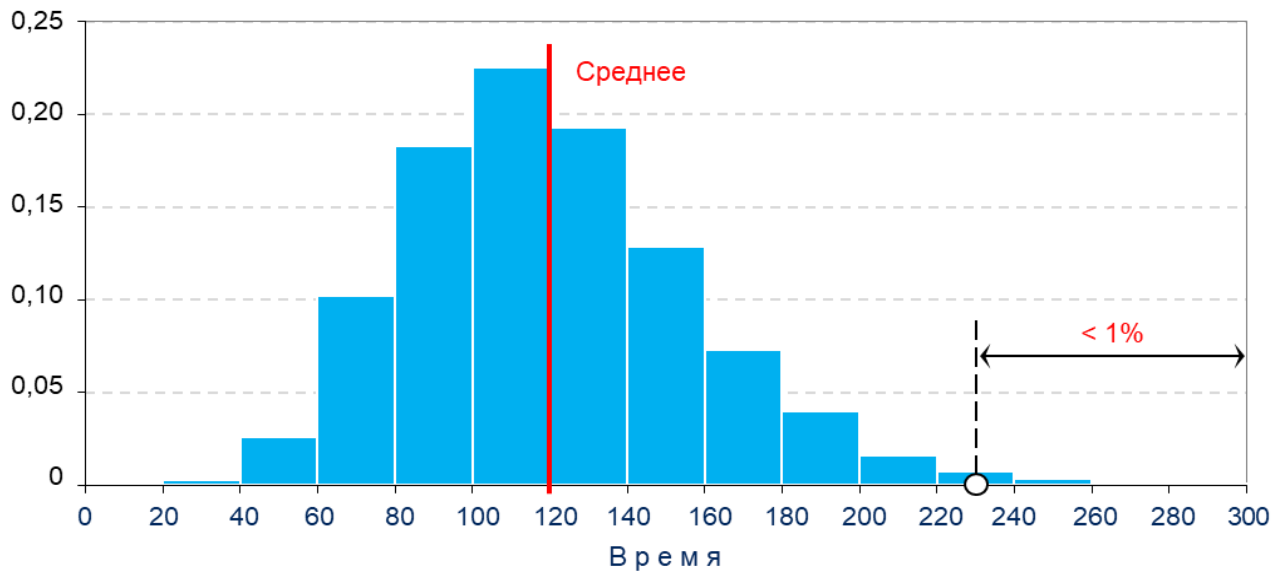


Рис. 14. Гистограмма распределения времени цикла для потока из 10 постов.

ному сроку  $T_2$ , то самая поздняя плановая дата его запуска в поток может определяться как  $T_1 = T_2 - T_0$ , где  $T_0 = 230$  секунд. А вот средняя производительность линии при этом будет на уровне  $60/12 = 5.0$  изделий в минуту, то есть почти в два раза выше, чем при работе по детальному плану.

Однако, важно понимать, что подобные оценки  $T_0$  можно получить только при известных вероятностных характеристиках процессов. А где их взять для мелкосерийного производства (не говоря уже про единичное или опытно-экспериментальное)? Предположим, что описанный в начале заметки гидронасос изготавливается на пяти рабочих центрах (см. рис. 4) в рамках приведенной на рис. 15 информационной модели «конвейерной сборки», где четыре из пяти РЦ (1–2–3–5) образуют главный конвейер, а РЦ4 в качестве вложенного конвейера поставляет на последний пост главного комплектующее «Крышка в сборе». На практике единственным способом получения разумных временных оценок часто служат экспертные суждения исполнителей типа «при обычной загрузке нашего РЦ мы делаем такую работу в среднем за  $t_0$  (секунд, минут, часов или дней)». Напомню, что кроме рассматриваемого гидронасоса каждый РЦ участвует в изготовлении и других изделий. При этом  $t_0$  характеризует общее время выполнения соответствующей работы в целом (то есть, интервал между моментами получения её в зону своей ответственности и передачи на следующий этап), а не чистое операционное, составляющее лишь небольшую его долю. Но если потребовать от исполнителей сдать работу к некоторому установленному сроку, то они, естественно, «заложатся» на всевозможные непредвиденные обстоятельства и будут настаивать на получении работы в своё распоряжение за  $(t_0 + \Delta t)$  до указанной директивной даты, где  $\Delta t$  зависит от оценки ими степени неопределённости процессов и суровости наказания за срыв плановых показателей. В результате мы возвращаемся к ситуации, когда при среднем значении 6 в план каждому рабочему центру ставят 23 (секунды,

минуты, часа или дня), – со всем вытекающими отсюда негативными последствиями, включая искусственно удлинённые производственные циклы и значительные скрытые резервы.

Альтернативное решение базируется на предлагаемом в теории ограничений подходе к управлению проектами по методу критической цепи.<sup>14</sup> А что, – вообще-то говоря, при опытно-экспериментальном и единичном производстве сборку изделия с многоуровневой структурой весьма логично рассматривать как «проект». Да и мелкая серия вполне может проходить по тому же департаменту. Применительно к нашей операционной среде суть сводится к следующим двум главным постулатам:

- I. Используются средние (или медианные) оценки времени выполнения этапов обработки на каждом РЦ.
- II. В качестве планового значения времени изготовления изделия в потоке из  $k$  последовательных рабочих центров,  $T_0$ , принимается сумма среднееценочных величин по всем РЦ, умноженная на коэффициент 1.5.

		шт	СУ		
1	Сборка платиков-замыкателей	РЦ1	25		
	- Манжета радиального уплотнения	2	шт	Д	
	- Пластмассовая обойма	2	шт	Д	
	- Манжета торцевого уплотнения	2	шт	Д	
	- Платик-замыкатель	2	шт	Д	
	- Пластина торцевого уплотнения	2	шт	Д	
2	Сборка поджимной обоймы	РЦ2	25		
	- Поджимная обойма	1	шт	Д	
	- Ведущая шестерня	1	шт	Д	
	- Ведомая шестерня	1	шт	Д	
	- Вкладыш	4	шт	Д	
3	Сборка качающего узла	РЦ3	25		
	- Подшипниковая обойма	1	шт	Д	
4	Окончательная сборка	РЦ5	25		
	- Болт для крепления крышки	6	шт	Д	
	- Сальник	1	шт	Д	
	- Стопор	1	шт	Д	
	- Крышка в сборе	1	шт	СУ	
1	Сборка узла 4	РЦ4	100		
	- Манжета уплотнения крышки	1	шт	Д	
	- Уплотнительное кольцо	1	шт	Д	
	- Крышка	1	шт	Д	




 Изготавливаемое изделие  
 Закупаемое изделие  
 Этап обработки  
**СУ** Сборочный узел  
**Д** Деталь

Рис. 15. Пример «конвейерного» производственного состава гидронасоса.

Иными словами, считается, что в идеальном варианте каждый РЦ уложится в заявленное им среднее время. Однако, поскольку, с одной стороны, идеальные варианты маловероятны, а с другой стороны, вряд ли все РЦ одновременно (при изготовлении одного и того же изделия) просрочат свои средние показатели, то страховка от всевозможных непредвиденных обстоятельств закладывается в виде «общего буфера времени» размером в одну треть от плановой длительности цикла  $T_0$ . (В данном случае работоспособность эмпирического коэффициента 1.5 подтверждается практикой его применения на типовых вероятностных моделях рассматриваемых процессов.)

Итак, если при сборке гидронасоса в потоке из четырёх рабочих центров среднее время прохождения каждого этапа оценивается, скажем, в 6 часов, то для общего времени цикла принимаем  $T_0 = 4 \times 6 \times 1.5 = 36$  часов. Напомню, что суммарное операционное время (за которое один такой насос полностью собирается одним слесарем) составляет не более 10 минут. А тут 36 часов?! Ну да, именно так и устроена характерная для мелкосерийного производства операционная среда динамической сложности.

Важно подчеркнуть, что при подобном подходе укрупнённого календарного планирования фиксированными являются только время выпуска  $T_2$  и запуска  $T_1 = T_2 - T_0$  для потока в целом. А все промежуточные сроки (которые могут быть рассчитаны, например, по приведенной на рис. 16 схеме) следует рассматривать исключительно в качестве ориентиров, – как вероятные самые ранние даты завершения отдельных этапов, – и не требовать их строгого соблюдения исполнителями. Они могут нести определённую смысловую нагрузку

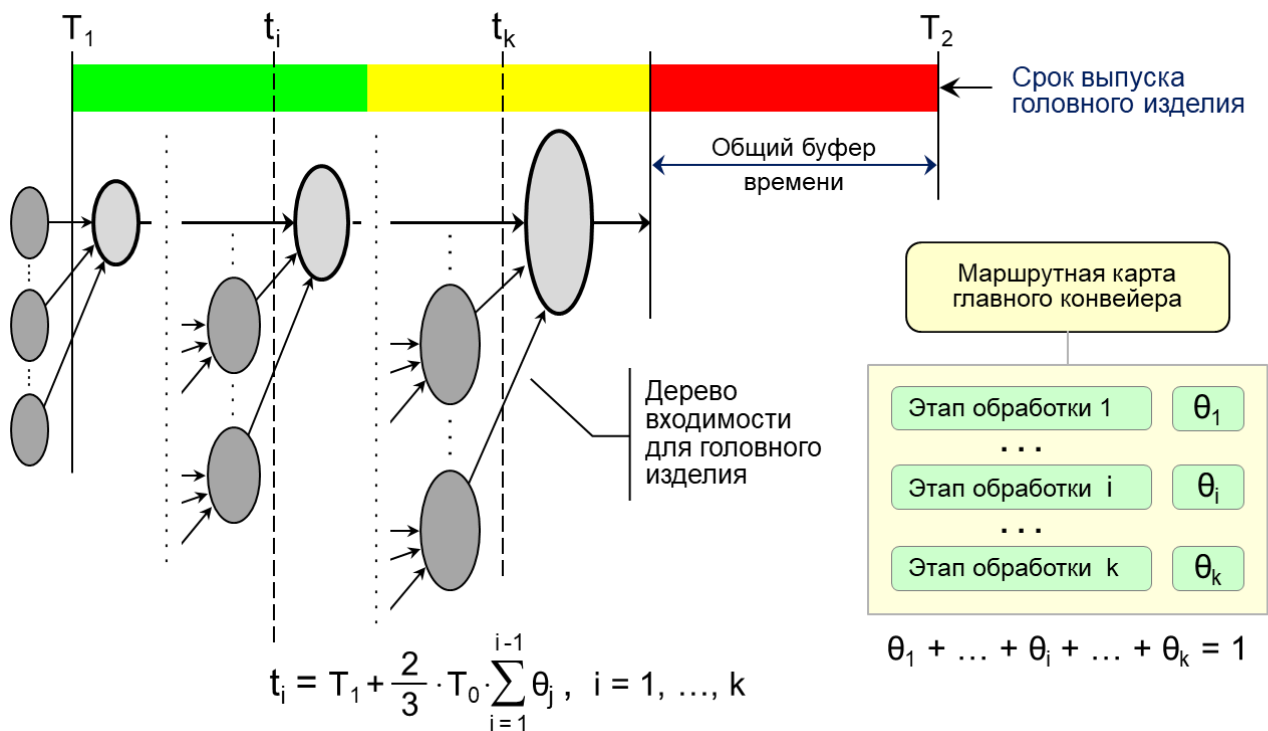


Рис. 16. Схема расчёта промежуточных сроков при «конвейерной» сборке.

ку для вложенных конвейеров с точки зрения обеспечения конкретных этапов необходимыми применяемыми материалами. Да и то только в тех случаях, когда характерные сроки поставки меньше времени прохождения потока головным изделием либо сравнимы с ним. Так, при сборке гидронасоса в рамках приведенной на рис. 15 информационной модели на вложенном конвейере в виде одного РЦ4 изготавливается «Крышка в сборе», которая (при оценке среднего времени выполнения работы, например, тоже 6 часов и, соответственно,  $T_0 = 1 \times 6 \times 1.5 = 9$  часов) должна поступить на четвертый пост главного конвейера как минимум за  $36 - 12 - 6 = 18$  часов до плановой даты выпуска головного изделия и, следовательно, быть запущена за  $18 + 9 = 27$  часов до этой даты. А что касается семнадцати позиций комплектующих деталей (8 собственного изготовления и 9 закупаемых), то при циклах их производства и доставки, измеряемых днями и неделями, логично будет руководствоваться принципом так называемой «единой даты комплектации», когда потребности в них формируются к одному и тому же сроку запуска головного изделия, – как на конвейерной сборке тумбочек (см. рис. 6) с корректировкой соответствующей информационной модели по типу рис. 7. Дело в том, что при коротких циклах и отсутствии к плановому моменту начала работ на главном конвейере некоторых комплектующих, возможно, разумнее будет отложить запуск всей сборки, чем потом довольствоваться наличием разбросанной по разным этапам обработки недоделанной продукции.

Теперь обратимся к устройству, структура которого в виде десяти крупных узлов с четырьмя уровнями входимости показана на рис. 8. Среднее время изготовления небольшой стандартной партии почти для всех узлов в отдельности участки-исполнители **1, 2, 3, 4** и **5** оценивают в 4-5 дней, в план (из-за высокой ответственности за соблюдение контрактных сроков выпуска конечной продукции) закладывают по 10 дней, а участок **0** обычно справляется с любой комплектацией за 1-2 дня. Исключение составляет «Блок управления», на изготовление и тестирование которого на участке **2** в среднем уходит 10 дней (в плане ставят 20). Так что общее плановое время «узловой» сборки всего устройства в рамках приведенной на рис. 9 информационной модели оказывается более 40 рабочих дней. (Но этого всё равно иногда не хватает.)

При конвейерном представлении производственного состава устройства (см. рис. 11 и рис. 12) ситуация выглядит по-другому. В таблице исходных данных на рис. 11 приведены оценочные размеры циклов для всех вложенных друг в друга конвейеров, полученные по описанной выше методике буферирования вариативности в потоках последовательной обработки. В частности, для «главного конвейера» эта величина составляет  $(2 + 10 + 4 + 4) \times 1.5 = 30$  дней, для «конвейера 1-1»  $(2 + 4 + 4) \times 1.5 = 15$  дней, для остальных вложенных конвейеров  $(2 + 4) \times 1.5 = 9$  дней, а для конвейеров обеспечения  $2 \times 1.5 = 3$  дня. В таком случае календарный график сборки устройства, построенный по указанной на

рис. 16 схеме расчёта промежуточных временных маркеров, будет иметь вид как на рис. 17. Здесь исходной директивной датой является срок выпуска конечного изделия, обратным планированием от которого производится расчёт сроков запуска всех десяти конвейеров. Как видно из рис. 17, в рассматриваемой ситуации оказалось, что вложенные конвейеры **4** и **5** должны будут начинать работы на день раньше главного. Очевидно, что при других соотношениях долей реализации по этапам  $\theta_i$  взаимное положение вложенных конвейеров может измениться. Принятые в расчётах (удобные для иллюстрации применяемой методики) значения этих долей указаны в таблице на рис. 11; обсуждение способов назначения соответствующих параметров информационной модели выходит за рамки настоящей заметки.<sup>15</sup> Отметим только, что при узловом представлении (как для конвейеров обеспечения **2**, **6** и **10**) маршрутная карта содержит всего один этап обработки и, следовательно,  $\theta = 100\%$ .

Полная аналогия с подходом к управлению проектами методом критической цепи<sup>14</sup> предполагает, что после составления предварительного календарного графика необходимо провести расшивку конфликтующих ресурсов. Казалось бы, это именно наш случай, потому что сборка некоторых узлов устройства, выполняемая на одном и том же рабочем центре, оказывается запланированной на один и тот же период времени. Например (см. рис. 17), на участке **5** в рамках вложенных конвейеров **8** и **9** практически параллельно должны будут собирать «Установку I» и «Установку II», а чуть раньше по сроку начала (но с пересечением по времени) «Отсек I» на конвейере **3**. Однако важно понимать, что в операционной среде мелкосерийного производства – в отличие от проектной – речь не идёт про так называемую «многозадачность» (multitasking), и

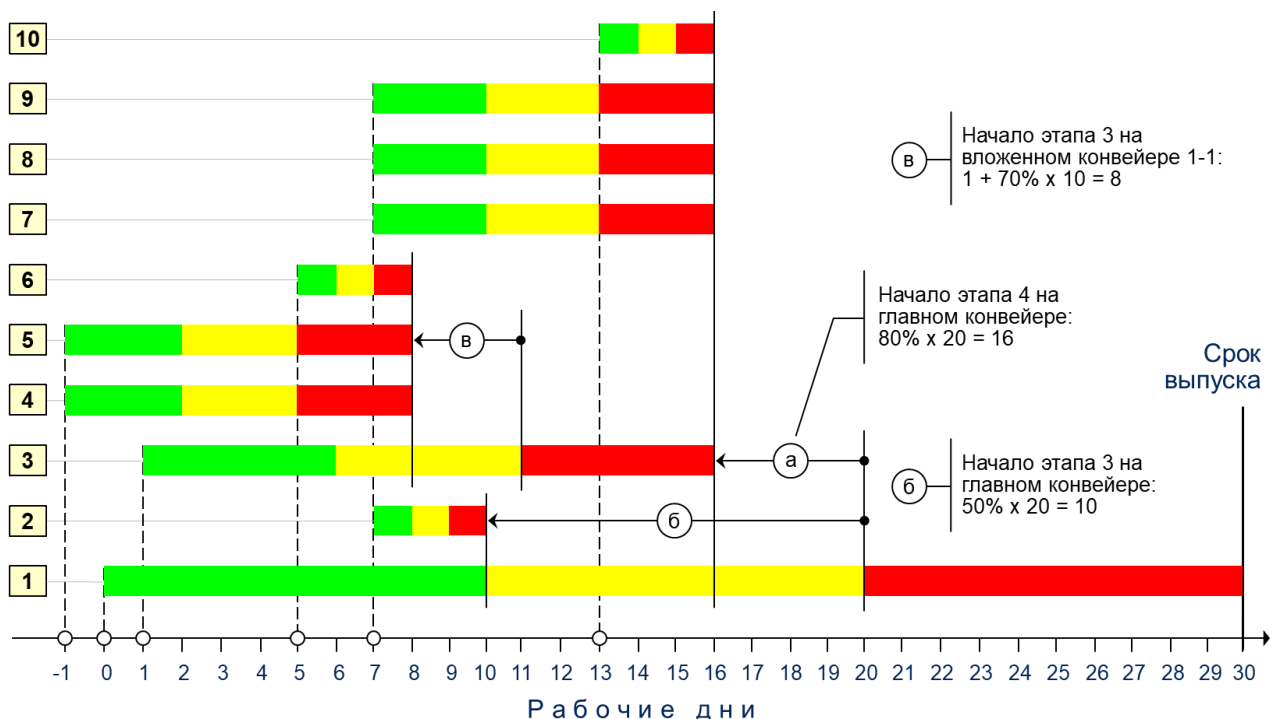


Рис. 17. Пример календарного планирования «конвейерной» сборки устройства.



при оценке средних сроков  $t_0$  исполнители уже «заложились» на подобного рода неопределённость с учётом своих возможностей по форсированию событий (ещё раз напомним, что чистое операционное время здесь обычно составляет лишь незначительную долю от общего по этапу обработки). Не говоря уже про специально предназначенную на случай всевозможных непредвиденных обстоятельств страховку в виде буфера времени в каждом из потоков.

Исключение могут составлять ситуации, когда в производстве реально имеются критические ресурсы. Скажем, на некотором этапе обработки используется покрасочная камера с известной производительностью  $p$  (квадратных метров площади обрабатываемой поверхности в час) и доступным резервом времени  $R$  (часов в день). Ясно, что если плановые потребности в покраске на протяжении длительного интервала времени (сравнимого с циклами движения потоков) в среднем превышают величину  $pR$  (квадратных метров в день), то часть заданий, скорее всего, имеет смысл перенести на менее загруженные периоды.

Вопрос: можно ли и, если да, каким образом при укрупнённом календарном планировании получить адекватную прогнозную оценку загрузки подобных ресурсов? Ответ положительный. Схема одной из методик показана на рис. 18, а её суть состоит в следующем. Если при изготовлении партии некоторых изделий размером  $n$  на этапе обработки с номером  $i$  выполняется технологическая операция на станке модели «М» и заданы соответствующие нормативы времени (например, подготовительно-заключительное  $T_{п-з}$  и штучное  $T_{шт.}$ ), то рассматривается интервал времени между «ориентировочными» сроками начала и завершения данного этапа  $[t_i; t_{i+1}]$  (определяемыми по приведенной на рис. 16 формуле), и общее операционное время  $T_i^M = (T_{п-з} + n \times T_{шт.})$  равномерно

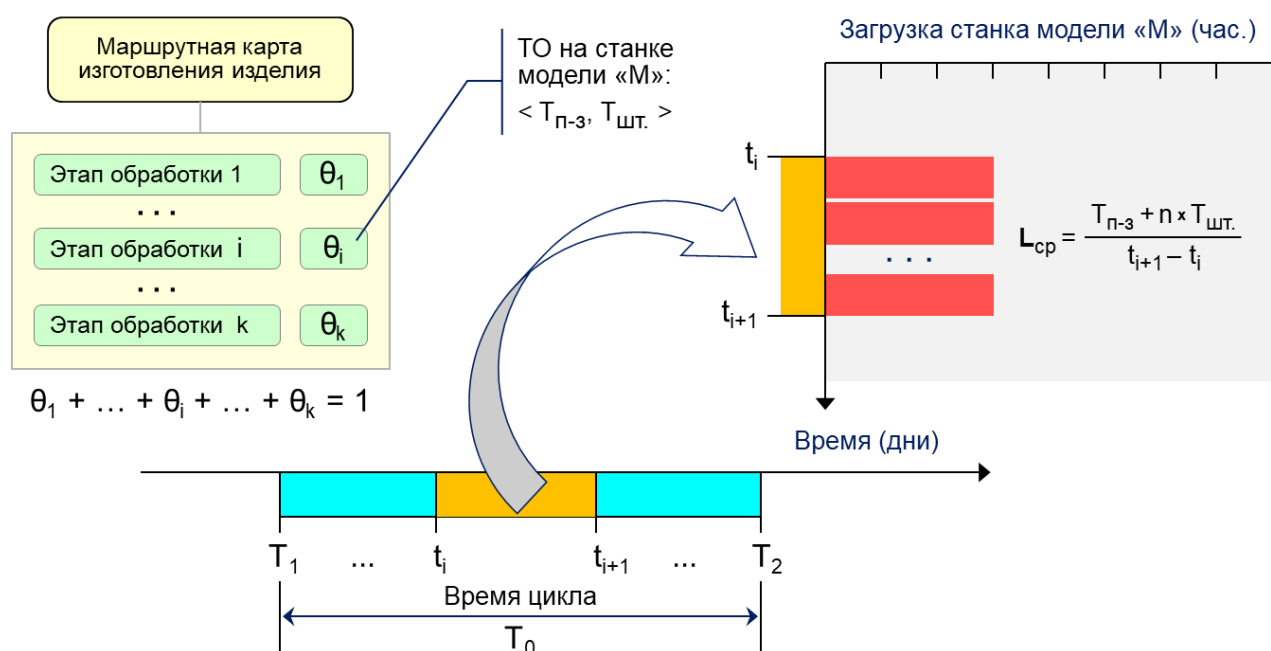


Рис. 18. Постановка задачи прогнозной оценки загрузки ресурсов.

«размазывается» по этому интервалу. Учитываются все технологические операции на станке модели «М» всех незавершённых этапов обработки всех производственных заданий по всем изготавливаемым изделиям. В результате из-за наложения большого числа отдельных фрагментов получается сглаженная картина предполагаемой загрузки анализируемого ресурса на всём горизонте планирования. Пример итоговых расчётов, выполненных в конце марта 2020 года для покрасочной камеры одного из предприятий, на три месяца вперёд с понедельной консолидацией представлен на рис. 19. Там же синей линией указан профиль доступных резервов времени (условно – две базовые смены по 8 часов при 5-дневке с учётом праздников на 18-й, 19-й, 20-й и 24-й неделях). Как видно из описания методики расчётов, при укрупнённом календарном планировании прогнозную оценку загрузки можно получить по одному отдельно взятому станку без использования технологических данных (даже если они есть в наличии) по всем остальным ресурсам.

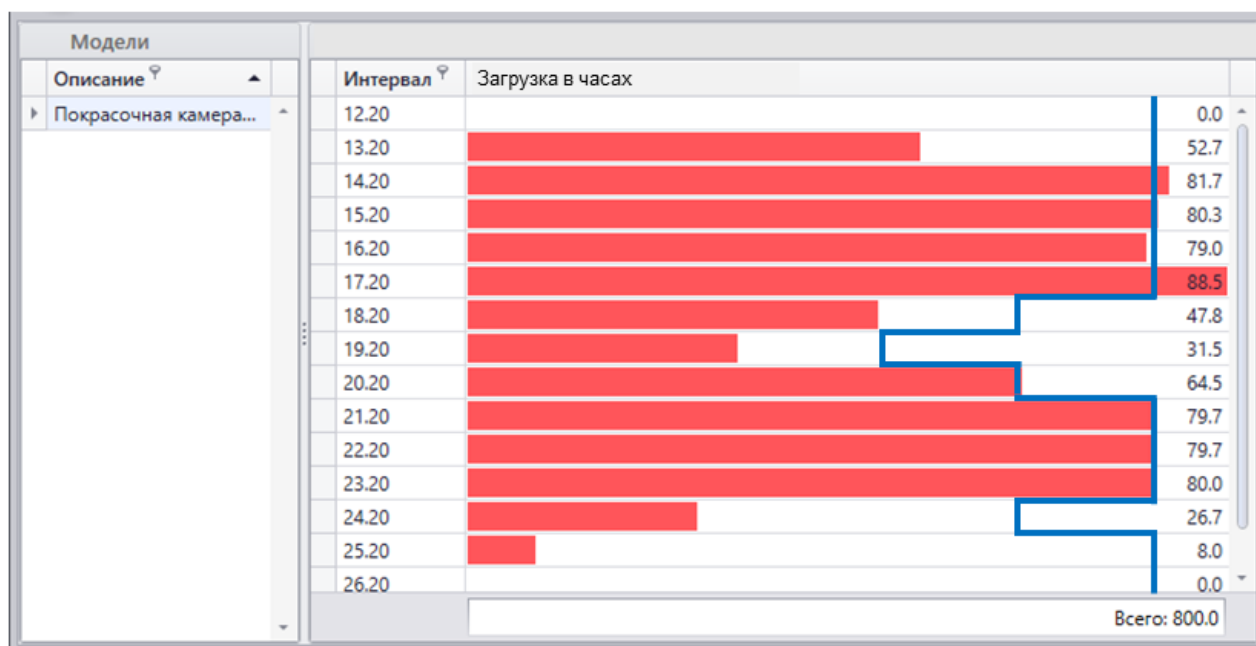


Рис. 19. Пример визуализации прогноза загрузки в управляющей системе<sup>3</sup>.

Резюмируя вышесказанное: ничего сверхестественного в планировании мелкосерийного производства нет. К сожалению, составить план – это только полдела (или полбеда, – кому как нравится), а то и меньше.

## УПРАВЛЕНИЕ «минус» ПЛАНИРОВАНИЕ

Согласно классическому определению Анри Файоля, «управлять значит предвидеть, организовывать, распоряжаться, координировать и контролировать».<sup>16</sup> Причём речь идёт не о технических устройствах (где управление это control), а о социальных системах (где управление – management), к которым относятся и

производственные. И если оставить в стороне стратегические аспекты корпоративного менеджмента (видение – миссия – стратегия), то на операционном уровне управление производством предполагает *планирование, диспетчирование* (организацию, распоряжение, координирование) и *контроль* (учёт и оценку результатов). В этом смысле применяемые на производственных предприятиях информационные системы можно условно разделить на учётные и управляющие. К первой группе я отношу и те, в которых кроме решения чисто учётных задач имеется функционал составления каких-то планов. А заложенная в них бизнес-логика, как правило, представляет собой простейшую двухходовку: построение плана – фиксация факта. В итоге о том, что просрочили, узнаём после того, как уже просрочили.

Предположим, что в соответствии с детальным производственным расписанием в данный момент времени на станке М следует начать некоторую операцию ТО<sub>1</sub>. И тут вдруг выясняется, что это невозможно (не подвезли материалы или комплектующие, нет оснастки и т. п.). Что делать? Есть всё необходимое для начала операции ТО<sub>2</sub>, но в плане она стоит только через три часа. А через час по плану предполагается начать операцию ТО<sub>3</sub>, но необходимая для неё заготовка ещё не поступила с предыдущего передела. Если вы работаете строго по расписанию (а зачем оно вам нужно, если вы по нему не работаете?), то единственный способ ваших действий – корректировка, иными словами, построение нового плана. В этой схеме нет места диспетчированию! Да и контроль (учёт и оценка результатов) в таком случае сводится к посмертной регистрации одного из двух фактических состояний: «есть результат» или «нет результата».

Однако, если вы, скажем, собираете тумбочки по приведенной на рис. 6 схеме, то ваш план может выглядеть как общий список из двухсот позиций, которые нужно выпустить за смену. А конкретная последовательность запуска определяется «на месте» в рамках диспетчирования производственного процесса в зависимости от наличия комплектации, фактического состава работников на линии и множества других локальных факторов и обстоятельств, которые просто нереально учесть ни в каком детальном плане. При этом контрольная функция будет выражаться в организации оперативной обратной связи, то есть в анализе отклонений текущего состояния производства от целевого и принятии решений о необходимости и способах обеспечения выхода на заданные плановые показатели. Например, если за полсмены из 200 удалось собрать всего 50 тумбочек, то, возможно, потребуются срочное перераспределение ресурсов на линии. А возможно и не потребуется, – если остались только самые несложные позиции. А может быть, чтобы выполнить план, кому-то придётся задержаться на полчаса-час после смены. Кстати, на Тойоте, – в отличие от других автомобильных заводов, – применялся (по крайней мере, раньше) двухсменный режим работ с 10-часовой продолжительностью каждой смены и 2-х часовыми перерывами между ними; такие перерывы использовались в том числе в

качестве ресурсных буферов для компенсации сбоев в основное время.<sup>17</sup>

В одной из моих предыдущих заметок предлагалось считать систему управляющей только *при наличии в ней явного механизма раннего предупреждения о возможности проявления негативных последствий в будущем*.<sup>18</sup> Это означает, что заложенная в информационной системе модель управления должна позволять не только фиксировать текущее состояние производства, но и оценивать критичность его отклонения от траектории штатного развития событий. Там же был описан один из элементов «приборной доски» для контроля и диспетчерирования мелкосерийного производства в ситуации, когда каждое задание на изготовление партии деталей, сборочных единиц или узлов имеет два динамически меняющихся во времени атрибута: приоритет и готовность.

Так, в рамках приведенной на рис. 12 конвейерной информационной модели сборки «Устройства» приоритет для любого из десяти потоков определяется степенью фактического потребления установленного времени цикла, а его готовность – суммой долей реализации по уже завершённым этапам обработки. В данном случае, исходя из представленного на рис. 17 календарного плана, общее состояние сборочного процесса, скажем, на начало восьмого дня от даты запуска главного конвейера может выглядеть как на левой диаграмме рис. 20, – при текущей готовности потоков, указанной в таблице над этой же диаграммой. Здесь к рассматриваемому моменту времени работы в потоках **2**, **6** и **9** полностью завершены, поток **10** запускать пока рано, а из оставшихся в зону повышенного риска попали потоки **4** и **5**. В обоих случаях выпускающим является участок **3** сборки электронных блоков, однако в первом он ещё не по-

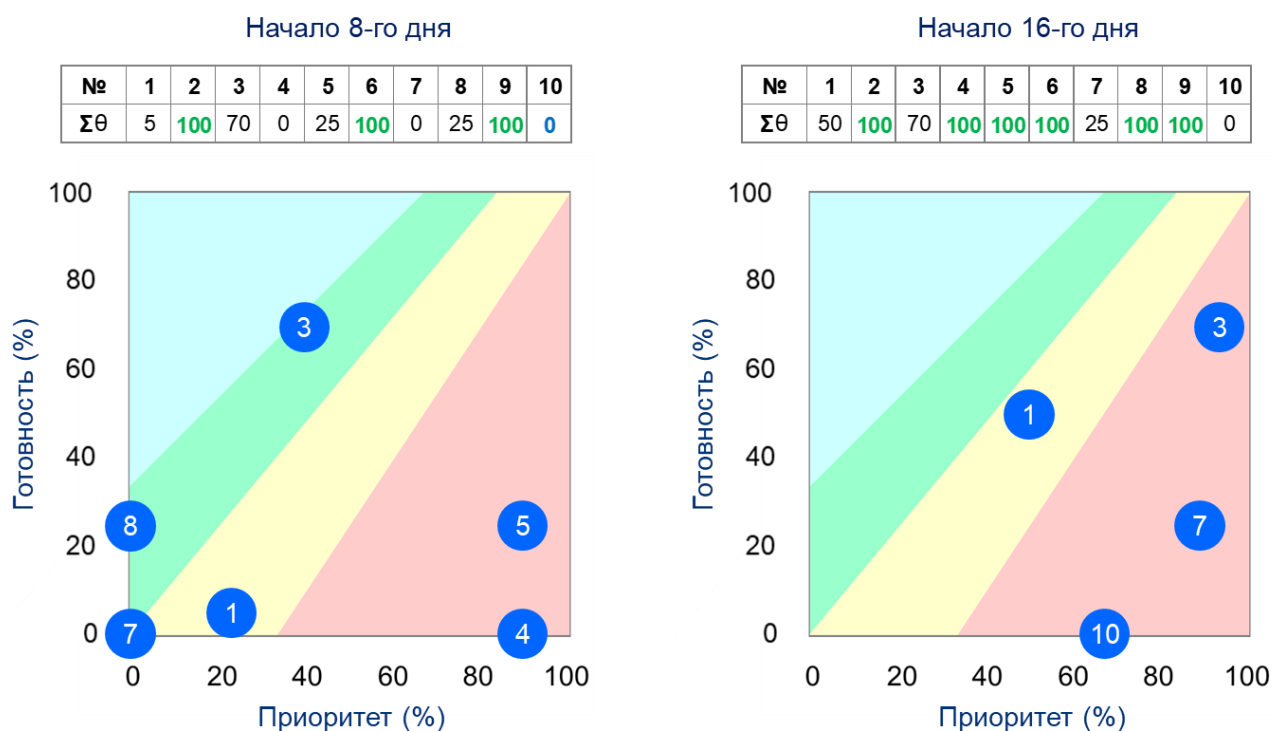


Рис. 20. Примеры визуализации состояния производства сложной сборки.

лучил с участка 0 нужную комплектацию. До планового (ориентировочного!) срока сдачи двух промежуточных узлов остаётся целый рабочий день, так что вполне понятно, где сегодня следует сконцентрировать усилия по диспетчированию. Что касается главного конвейера, то он находится в достаточно комфортном состоянии (в зоне пристального внимания, но при сравнительно низком текущем приоритете). Вопросов по остальным потокам нет.

16-й день – очередной крупный временной маркер в процессе сборки устройства (см. рис. 17). Предположим, что на начало этого дня общее состояние производства имеет вид как на правой диаграмме рис. 20, – при фактической готовности потоков, указанной в таблице над ней. Теперь уже шесть из десяти потоков завершены, а три из оставшихся четырёх попадают в зону повышенного риска. Все они находятся на последних этапах обработки и, возможно, в течение дня придётся принимать какие-то решения по форсированию событий на уровне диспетчирования. А возможно и не придётся. Но даже в случае превышения плановых ориентиров их завершения, у главного конвейера (с текущим приоритетом 50% и готовностью тоже 50%) имеется достаточный запас страховки для последующего буферирования такой неопределённости.

Итак, при изготовлении сложных сборок кроме планирования могут и должны активно применяться другие функции управления производством, включая инструменты контроля и диспетчирования. При этом под *сложной* понимается сборка с конвейерным представлением состава и наличием хотя бы одного вложенного конвейера на промежуточных этапах обработки.

## КОМПЛЕКТАЦИЯ

Среди перечисленных в начале заметки четырёх главных особенностей управления производством сборок *комплектация* напрямую присутствует в трёх, а в четвёртой – косвенно, поскольку на крупных предприятиях наряду со сборочными довольно часто создаются и специализированные подразделения (участки) комплектации. Опытные работники обычно говорят: «Была бы полная комплектация – соберём всё что хочешь!» Так что фактически речь идёт об одной из ключевых точек контроля в рассматриваемой операционной среде.

При наличии на производстве выделенного места хранения, которое будем условно называть кладовой комплектации, бизнес-процесс комплектования конкретной сборки в самом общем виде в идеальной ситуации имеет пять основных шагов (см. рис. 21):

- (1) анализ актуального графика комплектации (плана запуска производства сборок);
- (2) выбор нужной позиции плана (например, на определённый день) и формирование соответствующей ведомости комплектации;

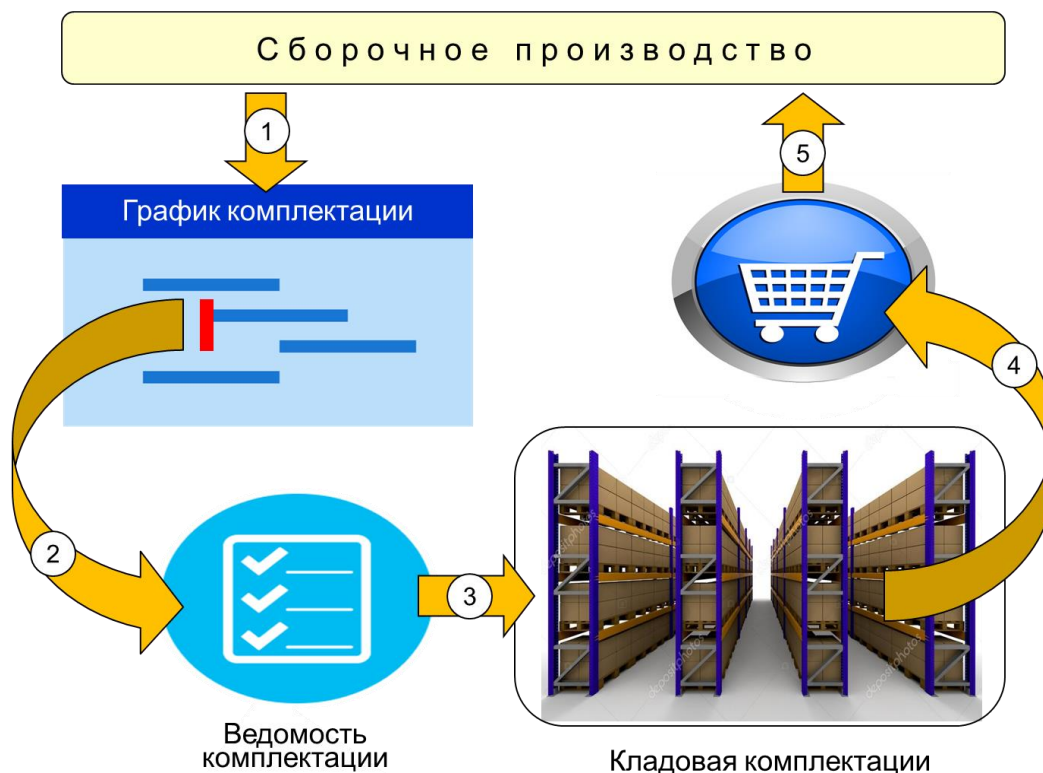


Рис. 21. Типовая схема организации комплектования сборок.

- (3) передача ведомости на фактическое комплектование;
- (4) подбор и документальное оформление подготовленного комплекта;
- (5) передача комплекта на сборку.

Разумеется, здесь не рассматриваются случаи, когда сборщики сами в любое время берут из имеющихся запасов всё что считают необходимым, либо получают комплектующие по требованиям собственного сочинения.

Реализация приведенного на рис. 21 «идеального» бизнес-процесса предполагает полную обеспеченность на момент комплектования всех позиций выбранной ведомости, а также соответствие реальных запасов данным действующей учётной системы. К сожалению, на практике подобные ситуации встречаются не слишком часто, а работы по подбору нужных комплектов для крупных сборок могут выполняться в несколько приёмов и в общей сложности занимать не один день. Адекватная модель управления производством, очевидно, должна учитывать указанные особенности и обстоятельства в виде модификации старых и/или введения новых информационных объектов и бизнес-процессов.

Альтернативная схема комплектования сложных сборок представлена на рис. 22. Здесь найденные по ведомости (из имеющихся в наличии) комплектующие перед передачей на сборку выкладываются в обособленные ячейки, а обнаруженный дефицит либо расхождение с данными учётной системы анализирует-

ся на предмет обеспеченности и, при необходимости, «вытягивается» из основного производства или службы снабжения. При этом в привязке к кладовой либо к участку комплектации вводятся дополнительные информационные объекты под названием «линейки комплектации» в виде мест хранения со специальными атрибутами, состав которых определяется одним из двух способов комплектования сборок:

(А) *по времени*, – когда в линейках группируются ячейки по датам выдачи на

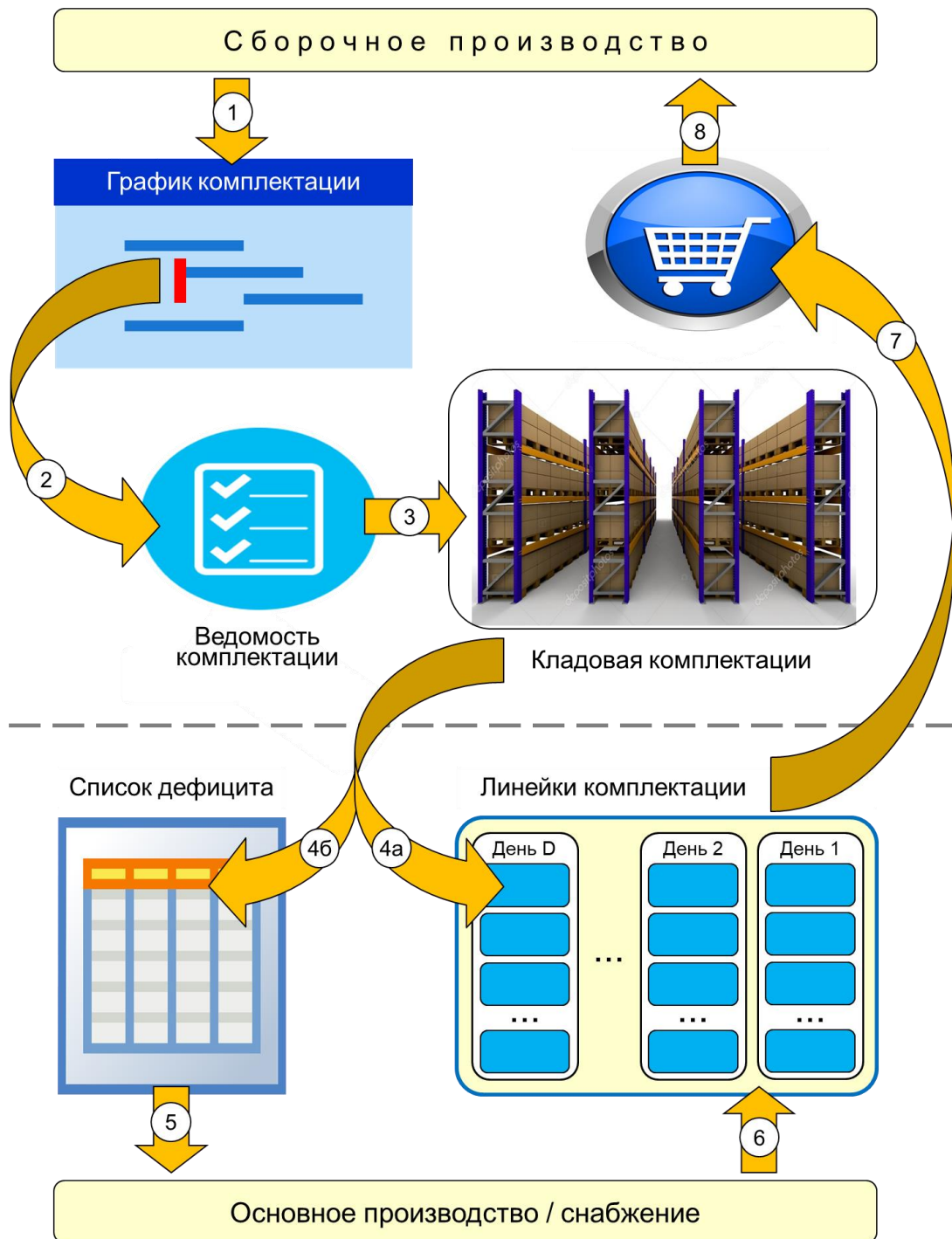


Рис. 22. Организация комплектования сложных сборок на базе линеек.

сборку (задача – скомплектовать позицию к заданному сроку); на рис. 22 показан именно такой вариант;

- (Б) *по составу*, – когда линейки формируются по конечным изделиям либо сборочным узлам более высокого уровня, а их ячейки соответствуют входящим узлам (задача – скомплектовать к разным срокам позиции под одну и ту же сборку с многоуровневым составом).

В любом из вариантов данный механизм позволяет начинать формирование комплектов заранее (например, за несколько дней до планируемых сроков запуска в производство соответствующих сборочных позиций), причём даже при отсутствии полной обеспеченности, но с возможностью анализа текущего дефицита и последующего доукомплектования. А модифицированный бизнес-процесс состоит из перечисленных ниже шагов:

- (1) анализ актуального графика комплектации (плана запуска-выпуска сборки);
- (2) выбор нужной позиции плана (например, на определённый день) и формирование одной или нескольких ведомостей комплектации;
- (3) передача ведомостей на фактическое комплектование;
- (4а) выкладка найденных в запасах комплектующих на линейки;
- (4б) внесение не найденных комплектующих в список дефицита;
- (5) анализ дефицитных позиций с точки зрения реальности их поступления к заданным срокам и принятие оперативных решений по замене, разукомплектованию или перебронированию между заказами и линейками;
- (6) при поступлении дефицитных позиций в кладовую комплектации их выкладка на нужные линейки;
- (7) документальное оформление подготовленных комплектов;
- (8) передача комплектов на сборку.

Обсуждение практических способов и технических приёмов диспетчирования на указанном выше шаге п. 5 выходит за рамки настоящей заметки.<sup>19</sup> Гораздо более важным с точки зрения модели управления представляется поднимавшийся ранее вопрос страховки от неопределённости, связанной с обеспечением наличия к моментам запуска сборки узлов большого числа применяемых в них комплектующих (как собственного изготовления, так и закупаемых). Конечно же, в предположении о том, что на уровне отдельных входящих компонентов уже предусмотрена защита в виде необходимых буферов времени либо запасов. Однако, как известно, «Мэрфи» в состоянии преодолеть любую защиту, – да ещё в ситуации, когда для достижения этой цели может воспользоваться сразу несколькими попытками. Очевидно, требуется какая-то дополнительная страховка для сроков готовности сборочных комплектов в целом.



Чтобы чем-то управлять, нужно иметь объекты управления. В случае комплектования сборок в информационной модели производства должны в явном виде присутствовать, как минимум, соответствующие этапы обработки. Особенно, если такие операции проводятся на специализированных участках, то есть в зонах самостоятельной административной и/или материальной ответственности исполнителей. Кроме того, могут оказаться полезными и объекты в виде фантомных изделий. Примеры применения этих инструментов уже приводились ранее при формировании конвейерного представления производственного состава «Устройства» (см. рис. 11 и рис. 12), – когда во всех десяти потоках «Комплектование ...» выступало в качестве первого этапа обработки, а в трёх из них использовались фантомные узлы «Сборочный комплект К2 (К6, К10)». Точно так же, в информационную модель сборки тумбочек (см. рис. 7) был введён фантомный узел «Комплект деталей под заказ», изготовлением которого занимался отдельный участок. При этом в зависимости от конкретной ситуации бизнес-процессы комплектования могут описываться не одним, а несколькими этапами обработки, – как показано на рис. 23 для «узловой» сборки гидронасоса, где перед собственно комплектованием идёт операция «Подготовка» с долей реализации 0%, включающая в себя, скажем, три первых шага органи-

Гидронасос НШ100 А-3 (правый)		шт	СУ
1	Общая сборка	РЦ1	100
Сборочный комплект гидронасоса 1 шт СУ			
1	Подготовка	К	0
2	Комплектование	К	100
	- Манжета радиального уплотнения	2	шт Д
	- Пластмассовая обойма	2	шт Д
	- Манжета торцевого уплотнения	2	шт Д
	- Манжета уплотнения крышки	1	шт Д
	- Уплотнительное кольцо	1	шт Д
	- Болт для крепления крышки	6	шт Д
	- Сальник	1	шт Д
	- Стопор	1	шт Д
	- Корпус	1	шт Д
	- Крышка	1	шт Д
	- Поджимная обойма	1	шт Д
	- Подшипниковая обойма	1	шт Д
	- Ведущая шестерня	1	шт Д
	- Ведомая шестерня	1	шт Д
	- Платик-замыкатель	2	шт Д
	- Пластина торцевого уплотнения	2	шт Д
	- Вкладыш	4	шт Д




-  Изготавливаемое изделие
-  Закупаемое изделие
-  Этап обработки
- СУ** Сборочный узел
- Д** Деталь

Рис. 23. Пример производственного состава «узловой» сборки гидронасоса с «конвейерной» комплектацией.

зационной схемы рис. 22. В таком случае поступление всех применяемых материалов будет планироваться к началу первого этапа, а списание регистрироваться после завершения второго.

Суть дополнительного буфера комплектации в общем виде иллюстрирует рис. 24. Здесь временной маркер «0» указывает плановый срок начала комплектования некоторого сборочного узла, а через  $D$  рабочих дней после этой даты запланирован запуск сборки данного узла (на рис. 24  $D = 3$ ). Из всех позиций комплектующих, – как собственного изготовления, так и закупаемых, –  $K$  имеют вид управления «по уровню» (со своими целевыми значениями и текущими наличными запасами), а остальные  $N$  управляются «по заказу», так что позиция с номером  $i$  характеризуется своим циклом производства или поставки  $D_i$  дней,  $i = K+1, \dots, K+N$  (на рис. 24 показаны циклы размером 3, 6, 9, 15 и 24 рабочих дня). Предполагается, что до плановой даты начала комплектования сборки (отсечка «0») движение материальных потоков по каждой из  $K+N$  позиций контролируется и диспетчируется независимо друг от друга стандартными средствами управляющей системы (например, с использованием диаграммы «приоритет–готовность»). А начиная с этой даты в рамках выделенного в виде буфера комплектации времени проводится регулярный анализ укомплектованности сборки в целом и (при необходимости) предпринимаются дополнительные усилия по устранению текущего дефицита. Ещё раз подчеркнём,

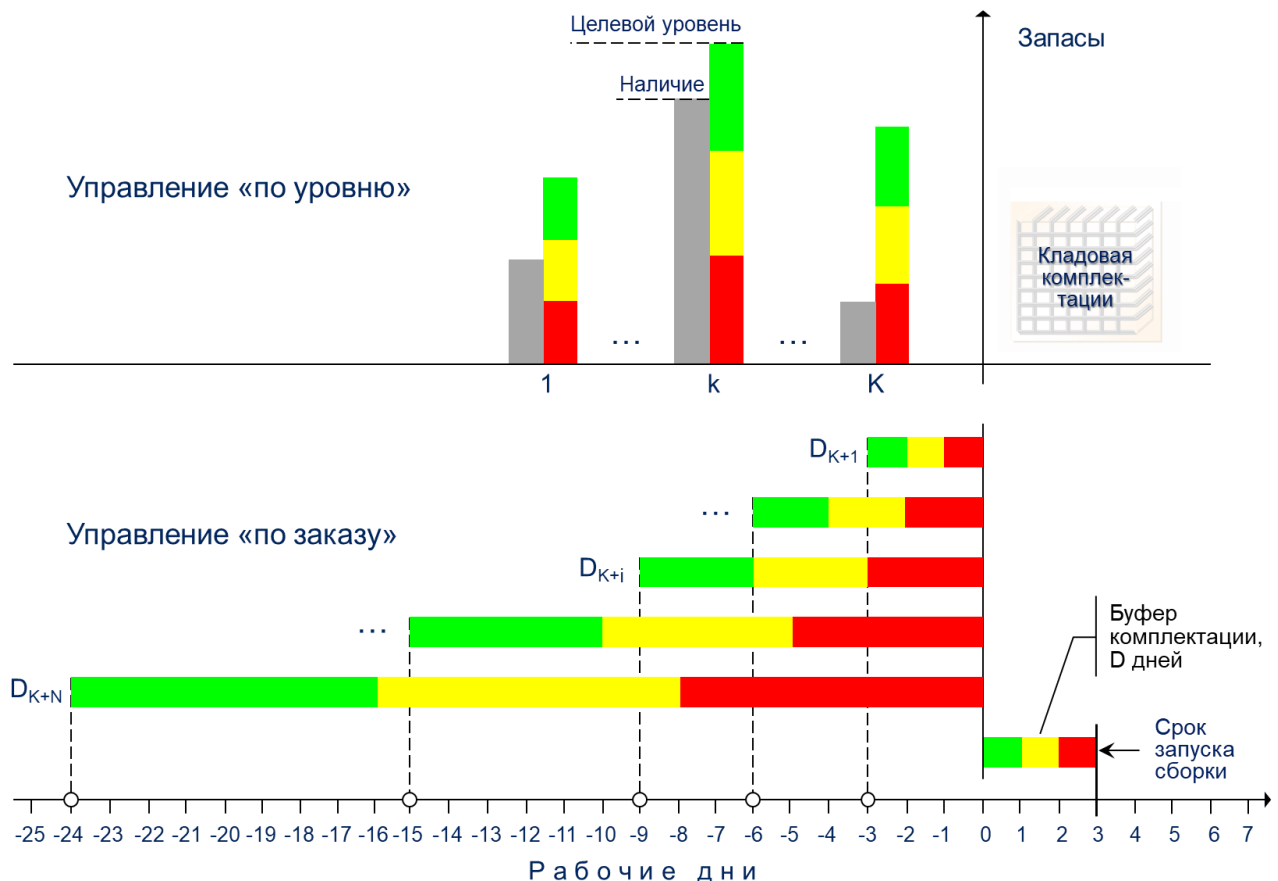


Рис. 24. Условная схема применения буфера времени комплектации сборок.

что в рамках рассматриваемой модели управления все плановые сроки кроме даты выпуска конечного изделия считаются *ориентировочными*.

Поскольку на крупных предприятиях обычно одновременно выполняется комплектование многих разных узлов к разным конечным изделиям и по разным клиентским заказам, то на практике бывает удобно пользоваться средствами контроля и диспетчирования, специально предназначенными для работы с линейками комплектации. Пример ещё одного элемента «приборной доски» управления мелкосерийным производством приведен на рис. 25. Здесь показан образец отображения линейки комплектации для «Устройства» с производственным составом в виде десяти вложенных конвейеров (см. рис. 12) при организации комплектования по варианту Б, то есть «по составу»; верхняя часть диаграммы – общий вид, нижняя – расшифровка атрибутов. В данном случае по позиции 4 заказа № 347 требуется изготовить партию в количестве 5 шт. таких изделий к сроку 30 апреля 2021 г. С этой целью на линейке номер 7 сформировано 10 ячеек, – по числу потоков, для каждого из которых указано плановое время начала этапа комплектования (рассчитанное по схеме календарного планирования рис. 17 для пятидневной рабочей недели), а также положение дел с укомплектованностью на начало рабочего дня 31 марта 2021 г. (что

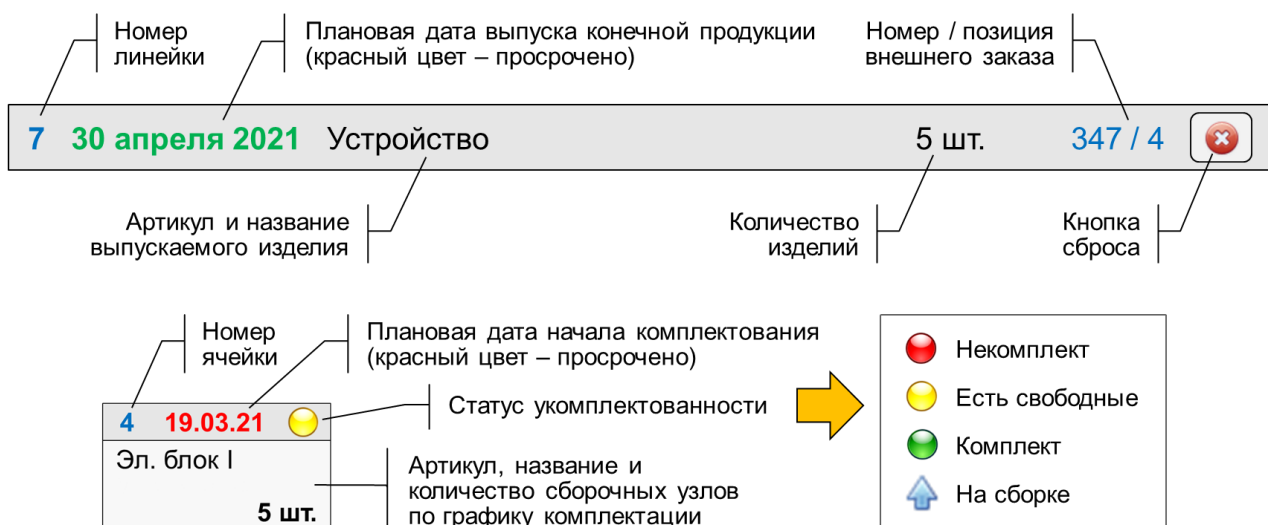
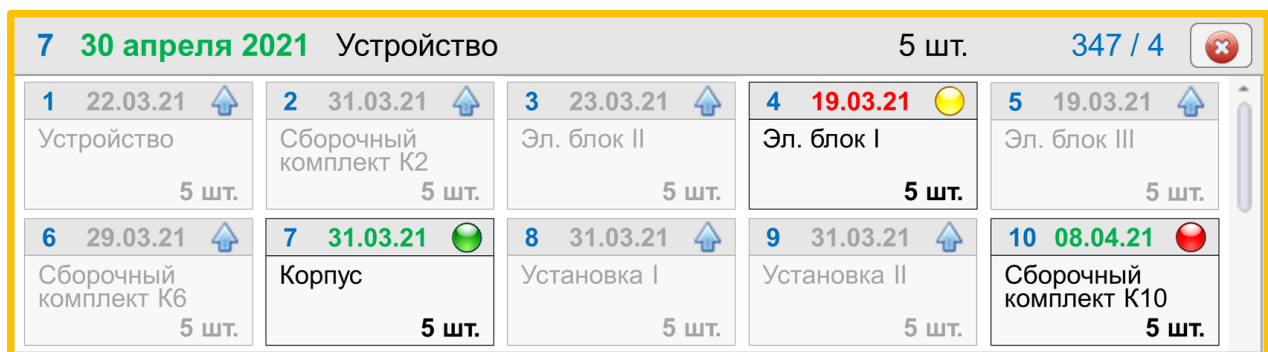


Рис. 25. Пример визуализации состояния укомплектованности сложной сборки.

соответствует состоянию производства, представленному на левой диаграмме типа «приоритет–готовность» рис. 20). Как видно, пока не начаты работы в трёх потоках, причём проблемы с комплектацией имеются только по потоку 4, где с момента плановой даты запуска прошло 8 рабочих дней и приоритет составляет уже 89%. При этом нужные комплектующие есть в наличии, но они по какой-то причине ещё не выложены на линейку. По потоку 7 полный сборочный комплект готов досрочно. А по потоку 10 зафиксирован дефицит, но запуск запланирован только на 8 апреля, так что ситуация не должна вызывать беспокойства. Если к показанному элементу визуализации добавить функционал анализа дефицита, а также замены, бронирования и разбронирования на уровне ячеек и линеек в целом, то можно получить достаточно эффективный набор инструментов управления комплектацией.<sup>19</sup>

## ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЕ ЗАМЕЧАНИЕ

Как ни странно, среди производителей часто бытует мнение, что поскольку при изготовлении сложной продукции применяется много разных изделий, каждое из которых может проходить несколько этапов обработки, то отдельные отклонения от детальных календарных планов в конце концов должны взаимно компенсироваться. При этом они же (производители) столь же часто удивляются, – почему обычно вначале всё идёт хорошо, а неприятности случаются, как правило, на завершающих стадиях процесса?

Теоретический ответ хорошо известен: отклонения компенсируются только в рядах независимых событий. А в системах последовательной обработки (типичным примером которых является мелкосерийное производство) ситуация принципиально другая; из-за большого числа переделов (когда сроки ожидания в очередях перед рабочими центрами нелинейно растут в зависимости от степени загрузки ресурсов) и древовидной структуры изделий (когда узел верхнего уровня можно собрать лишь при наличии всех комплектующих и узлов более низких уровней входимости) отклонения всегда накапливаются. В результате имеем сеть из множества взаимосвязанных событий, каждое из которых по отдельности характеризуется высокими шансами на реализацию, но в целом эти шансы настолько ничтожны, что ими можно пренебречь.

Так что не стоит удивляться объективной реальности, в которой основные отклонения от первоначальных производственных планов проявляются как раз «на завершающих стадиях процесса», то есть на сборке. В этом смысле, – несмотря на шутливый характер утверждения из коллекции «законов Мерфи», выбранного в качестве эпиграфа к настоящей заметке, – в нём только небольшая доля шутки, а содержание имеет строгие формулировки и обоснования.

Практические рекомендации тоже известны: нужно применять другие подхо-

ды к управлению производством, в частности, составлять другие календарные планы и по-другому относиться к их исполнению. Например, так, как это было показано выше.

## ВЫВОДЫ

- Управление производством это не управление технологическими процессами изготовления изделий, а совокупность бизнес-процессов планирования, диспетчирования и контроля движения материальных потоков.
- Конструкторская спецификация изделия – не догма, а руководство к действию. Более удобный для управления производственный состав – в зависимости от особенностей организации сборки – может иметь больше или меньше уровней входимости, в том числе включать в себя фантомные (промежуточные) информационные объекты.
- Применение «конвейерного» представления производственного состава изделия (вместо «узлового») позволяет, с одной стороны, упростить информационную модель соответствующих материальных потоков, а с другой стороны – сместить общее целеполагание с выполнения планов по изготовлению отдельных комплектующих и узлов на выпуск конечной продукции.
- При использовании элементов подхода теории ограничений к управлению проектами по методу критической цепи планирование мелкосерийного производства сложных сборок сводится к формированию сети вложенных друг в друга буферов времени, обеспечивающих страховку от проявлений различного рода неопределённостей при движении материальных потоков.
- Отказ от детального и переход к укрупнённому планированию, например, по схеме конвейерной сборки (когда все плановые сроки кроме даты выпуска конечного изделия считаются ориентировочными) означает усиление роли функций контроля и диспетчирования в общей модели управления производством.
- Если считать комплектование одной из ключевых точек контроля производства сложных сборок, то в управляющей системе должны быть предусмотрены специальные информационные объекты и инструменты диспетчирования этого процесса (типа показанных в настоящей заметке диаграммы «приоритет–готовность», линеек комплектации и т.п.).

## ССЫЛКИ И КОММЕНТАРИИ

<sup>1</sup> Цитируется «первый закон Клипштейна (в приложении к созданию опытных образцов и производству)» из серии так называемых законов Мерфологии; см. например, [vvv.srcc.msu.su/urry/merphy/index.html](http://vvv.srcc.msu.su/urry/merphy/index.html)

- <sup>2</sup> См.: **Жаринов С.** *О детальном и укрупнённом планировании.* – [ipro.ru/Load/3.0-О\\_планировании.pdf](http://ipro.ru/Load/3.0-О_планировании.pdf) (2013); *Приложение 1: Модель одного станка* – [ipro.ru/Load/3.1-О\\_планировании\\_П1.pdf](http://ipro.ru/Load/3.1-О_планировании_П1.pdf) (2016); *Приложение 2: Модель двух станков* – [ipro.ru/Load/3.2-О\\_планировании\\_П2.pdf](http://ipro.ru/Load/3.2-О_планировании_П2.pdf) (2017); *Приложение 3: Много станков* – [ipro.ru/Load/3-3\\_О\\_планировании\\_П3.pdf](http://ipro.ru/Load/3-3_О_планировании_П3.pdf) (2022).
- <sup>3</sup> Например, в «Системе планирования и контроля производства LS12» условное разделение на сборочные единицы и сборочные узлы проводится по факту отнесения «участка», ответственного за изготовление данного изделия, к заготовительным / обрабатывающим либо к сборочным подразделениям; общее описание LS12 см. по ссылке: [ipro.ru/Load/1-Общее\\_описание\\_LS12.pdf](http://ipro.ru/Load/1-Общее_описание_LS12.pdf)
- <sup>4</sup> **ГОСТ 3.1109-82.** *Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий.* – М.: Стандартинформ, 2012.
- <sup>5</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=GCCkmB1eYnM&t=2s> (видеосюжет, демонстрирующий часть процесса упаковки конечной продукции на предприятии по производству майонеза).
- <sup>6</sup> «К сборочным единицам при необходимости также относят: ...г) упаковочную единицу, представляющую изделие, создаваемое в результате соединения упаковываемой продукции с упаковкой.»; см. **ГОСТ 2.101-2016.** *Единая система конструкторской документации. Виды изделий.* – М.: Стандартинформ, 2018.
- <sup>7</sup> См., например: **Гаврилов Д.А.** *Управление производством на базе стандарта MRP II. 2-е изд.* – СПб.: Питер, 2008, с. 80.
- <sup>8</sup> **ГОСТ 2.053-2013.** *Единая система конструкторской документации. Электронная структура изделия. Общие положения.* – М.: Стандартинформ, 2019.
- <sup>9</sup> [https://www.youtube.com/watch?v=\\_\\_VOOFdjd5c&t=39s](https://www.youtube.com/watch?v=__VOOFdjd5c&t=39s) (видеосюжет, демонстрирующий процесс сборки гидронасоса типа НШ100).
- <sup>10</sup> **ГОСТ 23887-79.** *Сборка. Термины и определения.* – М.: Стандартинформ, 1986.
- <sup>11</sup> **Егоров М.Е., Дементьев В.И., Дмитриев В.Л.** *Технология машиностроения.* – М.: Высшая школа, 1976, с. 489.
- <sup>12</sup> **Monden Y.** *Toyota Production System. An Integrated Approach to Just-In-Time.* – CRC Press, 2012, p. 125-134, 161-170.
- <sup>13</sup> Показаны результаты компьютерного моделирования в рамках задачи, описание которой приведено по ссылке (2, Приложение 3): последовательная обработка на  $k=10$  рабочих центрах, среднее время между поступлением заготовок в поток  $t_0=12$  секунд, среднее время обработки на каждом РЦ  $t_1=6$  секунд, коэффициент использования каждого РЦ  $\Delta=t_1/t_0=0.5$ , все распределения экспоненциальные; соответственно, среднее время цикла  $T_{cp}=kt_1(1+\Delta/(1-\Delta))=120$  секунд; для построения гистограммы была использована выборка размером  $N=10000$ .
- <sup>14</sup> См., например: **Лич Л.** *Вовремя и в рамках бюджета. Управление проектами по методу критической цепи.* – М.: Альпина Паблишерз, 2010.

- 15 Если совсем коротко, то при назначении долей реализации можно использовать соотношение среднеоценочных значений времени выполнения этапов обработки, трудоёмкость либо любые другие содержательные соображения по поводу «важности», «сложности» или «значимости» отдельных этапов.
- 16 **Файоль А.** *Общее и промышленное управление.* – М.: Центральный институт труда, 1923, с. 12.
- 17 **Норр W.J., Spearman M.L.** *To pull or not to pull: what is the question?* – Manufacturing and Service Operations Management, vol. 6, no. 2, Spring 2004, p. 133-148.
- 18 **Жаринов С.** *Об учётных и управляющих системах.* – [ipro.ru/Load/8\\_Об учётных и управляющих системах.pdf](http://ipro.ru/Load/8_Об_учётных_и_управляющих_системах.pdf)
- 19 Примеры некоторых инструментов диспетчирования и средств визуализации процесса комплектования сложных сборок в управляющей системе можно найти по ссылке (3).

Баошичи (ЧГ), август 2022 г.