С. Жаринов

Об учётных и управляющих системах

**Информация, которая вам нужна, не та,
которую вы можете получить.**
Один из «законов информации»[1]

Четыре года назад мы разработали базовую версию программного комплекса под названием «*Система планирования и контроля производства LS12*»[2], и с тех пор в разных вариантах и модификациях развёртываем её сами либо через партнёров в качестве инструмента повышения доходности бизнеса предприятий, прежде всего, с мелкосерийным, единичным и даже опытно-экспериментальным характером производства. Компания у нас небольшая, к массовым внедрениям мы не стремимся и обычно сотрудничаем с теми, кто осмысленно принимает предлагаемую нами модель управления[3], основанную на главных логистических принципах *Toyota Production System*, реализованных с применением подходов *S-DBR / MTA / DBM* теории ограничений (см. Приложение 1).

При этом в разговорах с потенциальными заказчиками часто всплывает тема, вынесенная в заголовок заметки. Как правило, она затрагивается в контексте того, что на предприятии уже действует некоторая учётная система (чаще всего, на платформе 1С); в цехах и на складах всё что только можно оцифровано, обклеено штрихкодами или RFID-метками и фиксируется в режиме реального времени. Как следствие, руководители имеют доступ к огромным массивам данных о «посмертном» состоянии производства, – в любых разрезах и с любой степенью детализации. Казалось бы, что может быть лучше? Однако …

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЕСТЬ, А СЧАСТЬЯ НЕТ!

В том смысле, что предприятие по-прежнему лихорадит, заказы срываются, ежедневные утренние пятиминутки длятся часами и сверхурочные работы не сильно спасают ситуацию. «Может, мы не в те отчёты смотрим?», – спрашивают меня как консультанта. А встречный вопрос: «Какой моделью управления вы пользуетесь?», – ставит в тупик. Захожу с другой стороны:

– У вас логистика выталкивающая или вытягивающая?

– Конечно, вытягивающая! Каждый предыдущий процесс делает только то, что требуется последующему. И ничего лишнего. (Видимо, курсы бережливого производства для чайников не прошли даром.)

– А какие механизмы стабилизации системы применяете?

– Что это такое?

– Как, например, ограничиваете размер незавершёнки?

– Зачем?

– Не смущает, что по отчётам у вас средняя загрузка станков 83%?

– Естественно, смущает! Как раз на днях утвердили план мероприятий по увеличению эффективности использования оборудования, в соответствии с которым предполагается выйти на уровень не менее 95%.

– Ну да, а потом выяснится, что поскольку всё перегружено, то нужны новые станки и к ним ещё дополнительный обслуживающий персонал. А меньше загружать станки не пробовали?

– Как это? Мы же и так еле-еле с заказами справляемся.

Удивительно, но многие на самом деле уверены в том, что главная задача управления производством – максимально загружать оборудование и тем самым якобы повышать эффективность работы предприятия. А вариабельность процессов, формула Кингмана и закон Литтла – это не про них. И вообще, …

ЗАЧЕМ НУЖНА МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ?

Если «с головы до ног» обвешаться датчиками, и каждый день, каждый час, каждую минуту или секунду снимать по сто-пятьсот показаний различных характеристик и параметров, то … получаемые массивы информации будут поистине огромны и необозримы. Вопрос: что с ними делать? Они же нужны не для того, чтобы просто были, а чтобы приносили какую-то пользу.

Представим себе некоторый объект управления (см. рис. 1), по которому в различные моменты времени t учётной системой фиксируются входные дан-

Рис. 1. Схема управления объектом на основе данных учётной системы.

ные x(t) (возмущающие воздействия внешней среды), выходные данные y(t) (полезный результат) и текущее состояние w(t), а затем эти сведения в каком-то виде предоставляются лицам, принимающим решения (ЛПР), для осуществления ими определённых управляющих воздействий u(t) с целью получения желаемого отклика от объекта, в том числе изменения его поведения в нужном направлении.

Например, вряд ли для кого-то является секретом, что экипажу самолёта важно в полёте анализировать информацию о состоянии различного бортового оборудования, – чтобы обеспечивать штатный режим его работы. А, скажем, для выпуска закрылок следует подать соответствующую команду. При этом решаются задачи «детальной» сложности ситуации, – то есть отклик объекта на управляющее воздействие происходит «здесь и сейчас».

Однако, когда требуется прибыть в пункт назначения к заданному сроку, необходимо ещё, кроме того, фиксировать текущее положение воздушного судна и, что гораздо важнее, иметь информацию об отклонениях от расчётного курса? А откуда этот курс берётся? Из некоторой модели, по которой, в частности, вычисляются координаты места, где самолёт должен находиться в любой момент времени при том или ином развитии событий. Наличие подобной модели даёт экипажу инструмент оперативной корректировки полётного задания. Иными словами, обеспечивает механизм раннего предупреждения о возможности проявления негативных последствий в будущем. То есть позволяет обращаться к «динамической» сложности ситуации, – когда решения и их результаты разнесены в пространстве и времени[4]. В данном случае без модели есть риск не только не попасть в пункт назначения в срок, но и вовсе оказаться не в том месте.

Безусловно, ЛПР'ы в производстве тоже руководствуются некоторыми представлениями об управлении, например: «*чтобы лучше справляться с заказами, нужно запускать их как можно раньше и загружать станки как можно больше*» (модель типа «бери больше, кидай дальше»). К сожалению, решения о дозагрузке оборудования «здесь и сейчас» в операционной среде динамической сложности (характеризующейся высокой вариабельностью, зависимостью процессов и нелинейностью взаимосвязей), – в соответствии с законами динамики материальных потоков[5], – приводят к росту размеров незавершённого производства и, соответственно, к удлинению циклов выполнения заказов в будущем. То есть к результатам, прямо противоположным ожидаемым.

Тем не менее, типичной реакцией на подобное развитие событий сегодня часто бывает не замена модели управления на более адекватную, а попытки увеличить размерность задач детальной сложности и делегировать их решение в надёжные руки экспертов по внедрению киберфизических систем и других

прелестей цифровой трансформации и индустрии 4.0. Типа, пусть производством рулит «автопилот». А если что не так, то только потому, что пока не учтены ещё пара десятков, сотен или тысяч дополнительных параметров. Но это всего лишь вопрос времени … .

ТОГДА В ЧЁМ ПРОБЛЕМА?

Проблема в том, что аналогия производства с самолётом изначально ущербна. Современный самолёт – это, прежде всего, техническое устройство с согласованной схемой функционирования отдельных элементов и потому способное практически всегда работать на «автопилоте». (Кстати, за исключением особых ситуаций вроде взлёта и посадки, когда экипаж обычно берёт управление на себя.) А любая организация, включая производственное предприятие, – прежде всего социокультурное образование со сложными внутрикорпоративными взаимоотношениями и самоорганизацией, и потому практически всегда действующее в режиме особой ситуации[6].

Конечно, если у вас всего один станок с ЧПУ или гибкая производственная линия, то при известных допущениях можно попытаться имитировать их поведение с помощью цифровых «двойников», «тенéй» и прочих достижений компьютерных технологий. Но нужно понимать, что в данном случае речь идёт о так называемой «динамической системе», то есть об абстрактном математическом представлении объекта, которое *характеризуется своим начальным состоянием и законом, по которому система переходит из начального состояния в другое*[7] (см. рис. 2). Для систем с непрерывным временем в качестве такого закона эволюции может выступать набор дифференциальных уравнений, а для дискретного процесса это, грубо говоря, означает, что его состояние в каждый момент времени определяется из соотношений типа:

$$w(t_0) = w_0;\ \ w(t_n) = F(x(t_n), u(t_n), w(t_{n-1}));\ \ n > 0$$

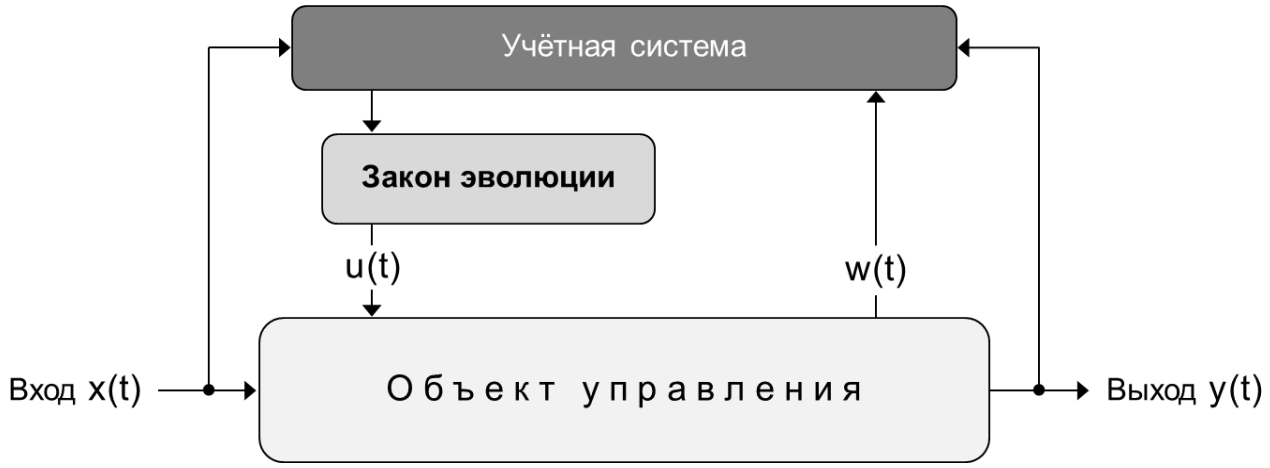


Рис. 2. Схема управления объектом как динамической системой.

Поэтому зная функцию F, в результате решения обратной задачи в принципе для любого текущего состояния и значения входного сигнала можно точно рассчитать управляющее воздействие, переводящее систему в любое другое желаемое состояние. Вот и вся модель, которой пользуется «автопилот». Если только обратная задача имеет решение, а соответствующее необходимое управляющее воздействие физически реализуемо. Например, пока ещё никому не удалось мгновенно развернуть самолёт в воздухе на 180 градусов, так же как за три секунды преодолеть тысячу километров.

Не говоря уже про производство, «развернуть» которое бывает гораздо сложнее чем самолёт. Но это только полбеды, или даже четверть, а то и меньше.

Дело в том, что на бытовом уровне «динамическое» воспринимается как нечто, развивающееся во времени. Тогда как в теории «динамических систем» предполагается строго детерминированная «траектория» изменения состояния управляемого объекта во времени, однозначно определяемая заданным законом эволюции и не допускающая случайных флуктуаций или вариабельности процессов. А в понятиях «динамической сложности» ситуации или операционной среды заложено прямо противоположное содержание, то есть высокая неопределённость и непредсказуемость, свойственные социальным системам, важнейшими элементами которых являются люди (владельцы, руководители и работники предприятия). Помните Деминга?

“Наиболее важные показатели, нужные для управления (любой организацией – С.Ж.)**, неизвестны либо неформализуемы.”**[8]

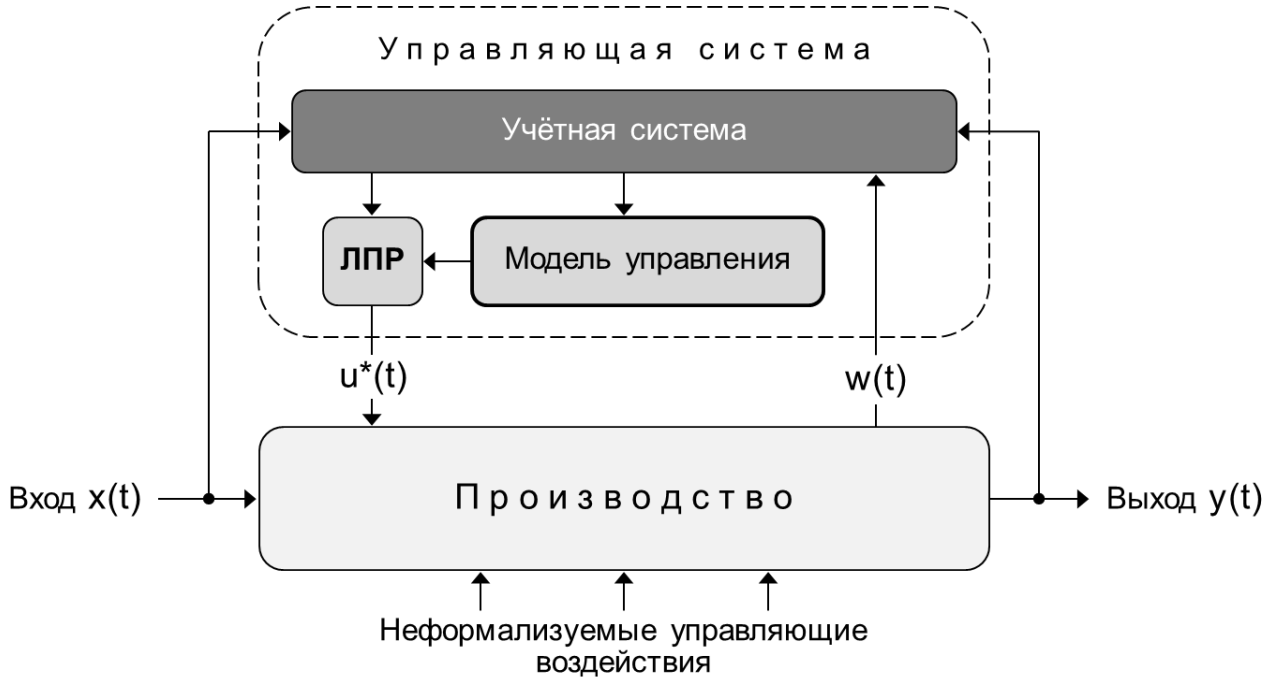


Рис. 3. Схема управления производством в среде динамической сложности.

При этом имеются в виду три группы факторов[9]: (I) как люди думают; (II) как люди чувствуют; (III) как они воспринимают систему, в которой работают. Так что главный вопрос – не в скорости реализации руководящих указаний, а в неполной и потому (что весьма вероятно) неадекватной оценке текущего положения дел. Причём последнее – всего лишь очевидное следствие наличия неформализуемых управляющих воздействий, существенно влияющих на фактическое состояние производства, но не находящих (и в принципе не могущих находить) непосредственного отражения в действующей на предприятии учётной системе. Поэтому если кроме станков у вас на производстве есть люди, то одними только ТСД и компьютерами (даже с самыми лучшими в мире «биг дейтами» и «интернетами вещей») для управления не обойтись. Всё равно необходимы ЛПР'ы, которые должны будут критически переосмысливать получаемые учётные данные и модельные установки и постоянно делать поправки на свою интуитивную оценку происходящего (см. рис. 3).

В этой связи интересно наблюдение эксперта с западным бэкграундом, несколько лет проработавшего топ-менеджером на крупном российском машиностроительном заводе[10]. В западной компании, – утверждает он, – после получения от руководства задания подчинённые обычно обсуждают, как выполнить задание. А для российских предприятий типична ситуация, когда после получения от руководства задания персонал обсуждает … руководство. «*И самое удивительное – вырабатывает собственную стратегию, которая часто ориентирована не на результат, а на нейтрализацию стратегии и тактики своего начальства*.»

ЧТО ДЕЛАТЬ?

Если уверены, что вариабельности не существует, а работники после раздачи заданий наперегонки бросаются выполнять указания руководства, то флаг (то есть цифровой двойник производства) вам в руки![11] В противном случае целесообразно по крайней мере попытаться переосмыслить предпосылки и допущения, лежащие в основе применяемой концепции управления.

Прежде всего, если окончательное слово в управлении принадлежит ЛПР'ам, то необходимо отдавать себе отчёт в том, что в рекомендациях «динамической системы» может оказаться не так уж много релевантной информации. Какая, например, практическая польза от рассчитанного на месяц вперёд детального производственного расписания на сто единиц оборудования и десять тысяч деталеопераций, в соответствии с которым на следующей неделе в четверг с 10:13 до 11:28 токарь Иванов на станке с инвентарным номером '083' должен делать работу № 347? Любой опытный мастер или начальник участка прекрасно понимает, что до означенного времени наверняка произойдёт масса всяких непредвиденных событий и ценность подобных сведений равна нулю. А един-

ственное назначение этой «филькиной грамоты» состоит в том, чтобы успокоить вышестоящее начальство, – дескать, «у нас тут всё под контролем». Более того, от такой модели управления может быть и вред, – поскольку она создаёт иллюзию реализуемости сценариев работы производства, полученных без учёта эффектов неформализуемых управляющих воздействий. Со всеми вытекающими отсюда негативными последствиями, примеры которых приводились в одной из моих предыдущих заметок[12].

Следовательно, требуются другие модели, – устойчивые к проявлению разнообразных причин вариабельности текущего состояния управляемых объектов и со степенью детализации предоставляемых результатов, соответствующей уровню восприятия и характéрным временам реакции конкретных ЛПР'ов. Например, если фактические циклы изготовления деталей при мелкосерийном производстве измеряются несколькими днями, то нет никакого смысла заранее составлять расписания с точностью до минут или даже часов. При этом не исключено, что задержка где-нибудь в середине процесса на день-два (а то и на неделю) от принятого графика работ не будет критичной. А как понять – критична она или нет?

Предположим, что по данным вашей учётной системы состояние производства в каждый момент времени описывается всего двумя параметрами, то есть некоторой точкой на фазовой плоскости. И рассмотрим для примера четыре варианта развития событий по одному и тому же заданию, показанные на диаграмме I рис. 4. Что про них можно сказать? Что в каждом случае задание каким-то образом выполняется, но хорошо или плохо – оценить невозможно, поскольку нет ориентиров, то есть отсутствует представление о том, в каком состоянии в данный момент времени должно было бы находиться это задание при «штатном режиме» работы производства.

Ориентиры обеспечивает модель управления. Для «динамической системы» это одна точка, а при учёте неформализуемых управляющих воздействий – «размытая точка» в виде некоторой области на фазовой плоскости. Если ситуация выглядит как на диаграмме II рис. 4 (когда каждый из четырёх вариантов попадает внутрь зелёной *области нормальной работы*), то всё идёт хорошо и никаких дополнительных управляющих воздействий не требуется.

А если как на диаграмме III рис. 4? Тогда всё хорошо только в первом варианте, а в трёх остальных – не очень! А насколько «не очень»? Иными словами, где находится та область отклонений от штатного режима работы, в пределах которой ситуацию можно скорректировать за счёт некоторых типовых управляющих воздействий? Если, – в соответствии с принятой моделью, – как на диаграмме IV рис. 4 (когда каждый из трёх вариантов попадает внутрь жёлтой *зоны пристального внимания*), то ещё не всё потеряно.

А если как на диаграмме V рис. 4? Тогда для третьего и четвёртого вариантов ситуация выглядит критической и, вероятно, потребует особого отношения и принятия чрезвычайных мер. На диаграмме VI рис. 4 такая *зона повышенного риска* условно выделена красным цветом. Но может включать в себя и дополнительную «чёрную зону», когда уже совсем поздно пить «Боржоми».

Обычно в реальном производстве о том, что просрочили, становится известно постфактум, то есть уже после того, как просрочили. И ваша учётная система успешно зафиксировала это печальное обстоятельство. Но если бы ещё вчера или позавчера вы подозревали о высоких потенциальных рисках, то обяза-

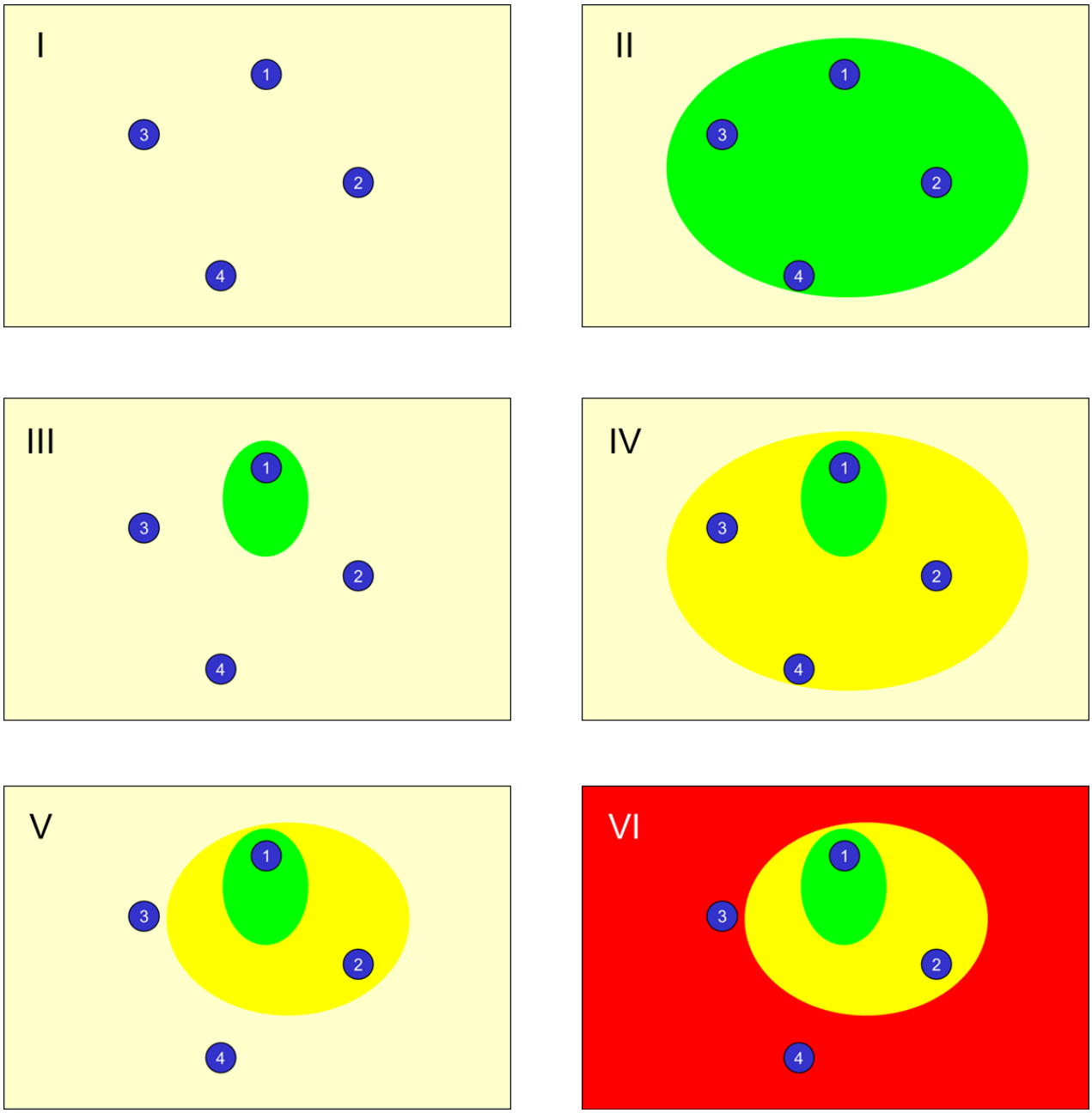


Рис. 4. Текущее состояние производства при разных моделях управления.

тельно бы что-нибудь придумали! Вот тут-то вам бы и пригодился механизм раннего предупреждения о возможности проявления негативных последствий в будущем, который может существовать исключительно в рамках определённой модели управления. А добавив к нему удобные, компактные и наглядные инструменты анализа предоставляемой информации, получили бы эффективную управляющую систему.

КАК ЭТО МОЖЕТ РАБОТАТЬ?

На рис. 5 приведен пример одного из крупнейших российских производителей пластиковых изделий хозяйственно-бытового назначения с логистикой «завода типа I». Общая номенклатура выпускаемой продукции составляет несколько тысяч наименований, но для иллюстрации обсуждаемых управленческих подходов представлена информация только по одной из самых ходовых позиций. Голубая линия на верхнем графике – продажи в штуках по дням 2020 года (временно́й ряд из 366 чисел); среднее значение ~300 шт. за день, однако в структуре потребностей имеется явно выраженная сезонность, а также выбросы (из-за всевозможных акций, причём в 9 случаях до уровня более 1500 шт., а в трёх случаях – более 4000 шт. в день). Серая линия – фактические складские запасы готовой продукции, с целью поддержания которых плановики предприятия по данным своей учётной системы регулярно анализируют текущее состояние производства и запасов и каким-то образом инициируют запуск заданий на пополнение.

Некоторые результаты реконструкции событий на основе модели *MTA / DBM*[13] показаны оранжевой линией на верхнем графике и в виде диаграммы в нижней части рис. 5. Здесь в качестве единственного ключевого индикатора состояния рассматривался статус SKU (то есть 100% минус доля имеющихся в наличии запасов относительно целевого уровня по соответствующей номенклатурной позиции), а в связи с короткими производственными циклами для размеров зелёной, жёлтой и красной зон было принято соотношение 50:30:20.

Как видно из представленной информации, в данном случае и по данной конкретной SKU разработанная укрупнённая модель могла бы справляться с управлением запасами вообще без всякого вмешательства плановиков, почти 90% времени сохраняя состояние системы в пределах области нормальной работы и за весь год ни разу не угодив в зону повышенного риска. При этом средний размер запасов поддерживался бы на уровне чуть выше 60% от фактического (2054 шт. вместо 3319 шт.).

И ещё … . Типичной проблемой управления запасами в цепочках поставок обычно является проявление так называемого «эффекта хлыста», то есть дестабилизации производственной системы, как правило, в периоды высокого

спроса. В приведенном примере такая ситуация наблюдается как минимум дважды, – в середине и в конце года, – в виде неадекватной реакции на случайные всплески потребления (см. пики серой линии на графике рис. 5). Наоборот, поведение модельного прототипа демонстрирует устойчивость, обусловленную заложенными в него инструментами вытягивающей логистики.

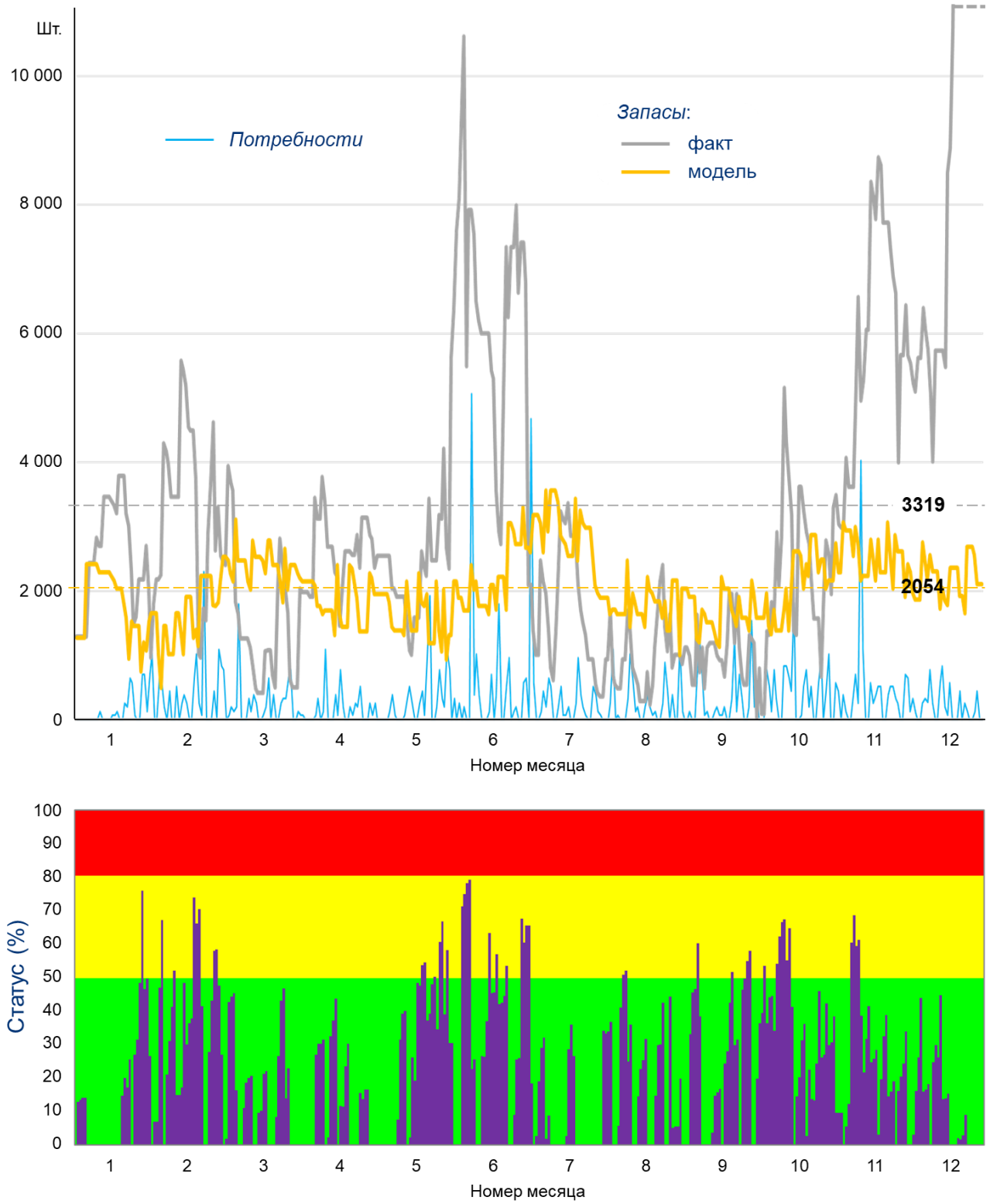


Рис. 5. Пример работы управляющей системы (*MTA / DBM*, одна SKU).

Второй пример: ещё одна крупнейшая российская компания FMCG-сектора с логистикой «завода типа Т». Здесь на первом этапе производства в рамках сложного и непрерывного технологического процесса продолжительностью 4-6 дней изготавливается небольшая номенклатура полуфабрикатов (порядка сотни наименований), которые затем относительно быстро «распускаются» на конечные изделия различных типоразмеров и упаковочных конфигураций. Доминирующая стратегия рыночного позиционирования – позаказная со сроками исполнения не менее недели (что определяется характерными временами циклов), хотя в загашниках предприятий хранятся многодневные запасы готовой продукции (однако – в полном соответствии с «законом склада» – часто не той, которая в данный момент требуется клиентам).

Компании была предложена комбинированная модель управления, в рамках которой полуфабрикаты производятся «на склад» по схеме *MTA / DBM* с адаптивной настройкой целевых уровней, а плановики пользуются простейшим навигатором, пример которого приведен на рис. 6. В данном случае на диаграмме с вертикальным расположением зелёной, жёлтой и красной зон одинакового размера отображаются статусы запасов по всем полуфабрикатам в текущий момент времени, упорядоченные сверху-вниз по убыванию. (Наименования реальных артикулов скрыты, и показаны первые 20 из сотни позиций, – поскольку по оставшимся положение дел только лучше.) Как видно, особого отношения в рассматриваемой ситуации требуют к себе не более трёх SKU, попавших в зону повышенного риска, состояние дел по которым следует детально проанализировать и, возможно, принять какие-то дополнительные уп-

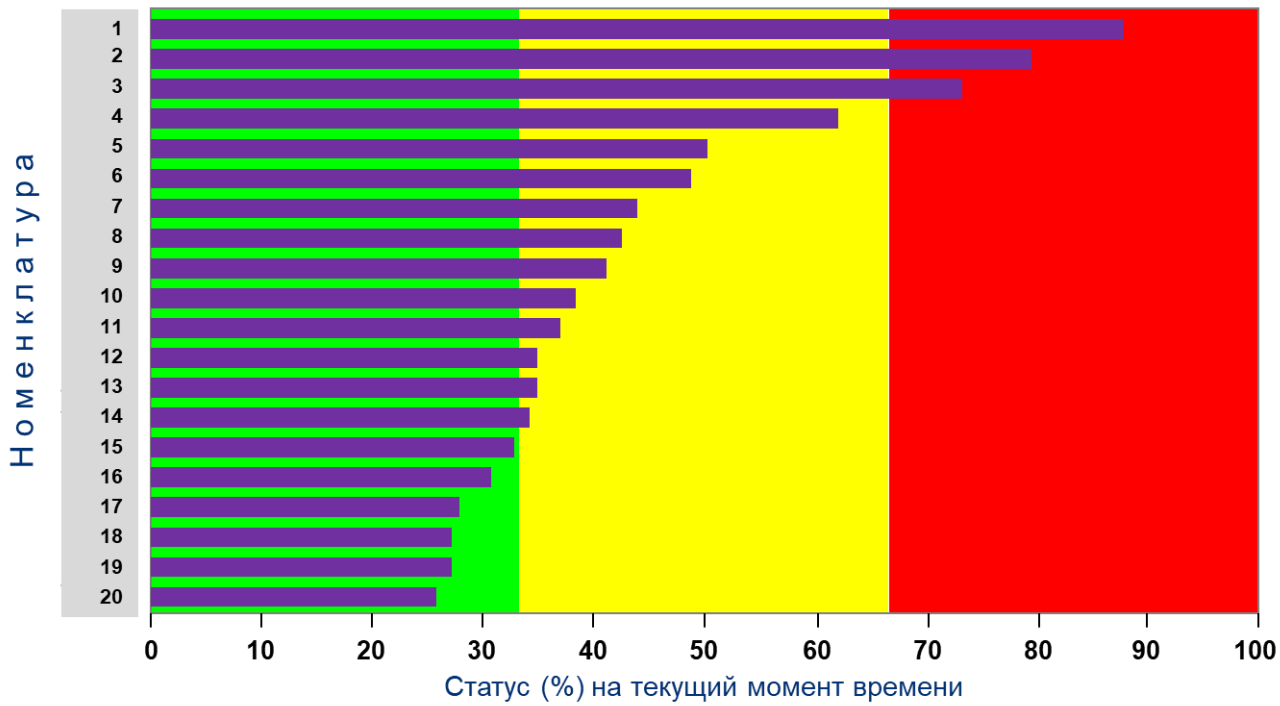


Рис. 6. Пример диаграммы состояния запасов (*MTA / DBM*, несколько SKU).

равленческие решения. А в остальном всё нормально работает на «автопилоте». Более того, в результате дальнейших исследований выяснилось, что поведение системы в целом существенно стабилизируется, и при том же уровне запасов готовой продукции и незавершённого производства заказы можно легко выполнять не за неделю, а за 2-3 дня (фактор, очевидным образом усиливающий конкурентные преимущества компании). Конечно, при ретроспективном компьютерном моделировании сложно имитировать эффекты, обусловленные особыми причинами вариабельности, но применяемые инструменты управления даже в таком упрощённом формате позволяют своевременно замечать и предотвращать опасность потери контроля над ситуацией.

ЧТО ДАЛЬШЕ?

Когда циклы пополнения относительно короткие (по сравнению с характерными временами изменения потребностей, – как в первом из приведенных выше примеров), то для управления запасами часто вполне достаточно единственного индикатора в виде статуса SKU и пары диаграмм, показанных на рис. 5 и рис. 6. В таких случаях необходимо прежде всего оперативно контролировать запуски, и с подобными задачами хорошо справляется «автопилот».

Однако при более длительных циклах бывает важен не только сам факт наличия в производстве заданий на пополнение, но и понимание их актуального состояния. Когда по технологии (как во втором из приведенных выше примеров) на весь процесс уходит 5 дней, то в зависимости от сроков его реального запуска выход может быть уже сегодня, а может и через 5 дней. В первом случае задание почти завершено, а во втором – только начато. При этом статус SKU тот же (скажем, 75%), хотя полноценный анализ критической ситуации может диктовать применение разных управленческих решений.

Но если для каждого задания измерять две характеристики: *приоритет* (относительно текущих потребностей, в диапазоне от 0 до 100%) и *готовность* (в виде некоторой оценки степени его завершённости, тоже в диапазоне от 0 до 100%), то состояние производства в любой момент времени наглядно представляется совокупностью точек на плоскости (см. модельный пример на диаграмме I рис. 7). Как теперь понять – где проблемы? Да очень просто! Если с заданием всё хорошо, то его готовность примерно равна приоритету, то есть соответствующая точка находится вблизи диагонали прямоугольника.

Заметим, что степень «близости» определяется спецификой решаемой задачи, и в каждой конкретной ситуации область нормальной работы может иметь свои индивидуальные особенности. Так же, как и зона повышенного риска, – для заданий с высоким приоритетом и низкой готовностью в правом нижнем углу прямоугольника. Причём когда (как в задачах управления запасами) ва-

жен акцент на приоритетах, то можно воспользоваться цветовой индикацией как на диаграмме II рис. 7. Фактически это развёртка диаграммы состояния запасов (рис. 6) во второе измерение. И если по одной и той же SKU в разное время было начато несколько заданий на пополнение, то теперь они представляются серией точек с возрастающими значениями приоритетов и готовности, а наибольший приоритет у самого раннего из них совпадает со статусом позиции. Оранжевыми звёздочками на диаграмме II рис. 7 выделены три точки, соответствующие модельной ситуации, при которой для 5-дневного технологического процесса (как во втором из приведенных ранее примеров) и текущего статуса запасов 75% по некоторой SKU одно из обеспечивающих заданий находится в производстве 4 дня (готовность 80%), второе – 3 дня (60%), третье – 1 день (20%). На рис. 8 (а) приведен пример реализации навигатора такого типа в управляющей системе. Здесь в качестве третьей характеристики текущего

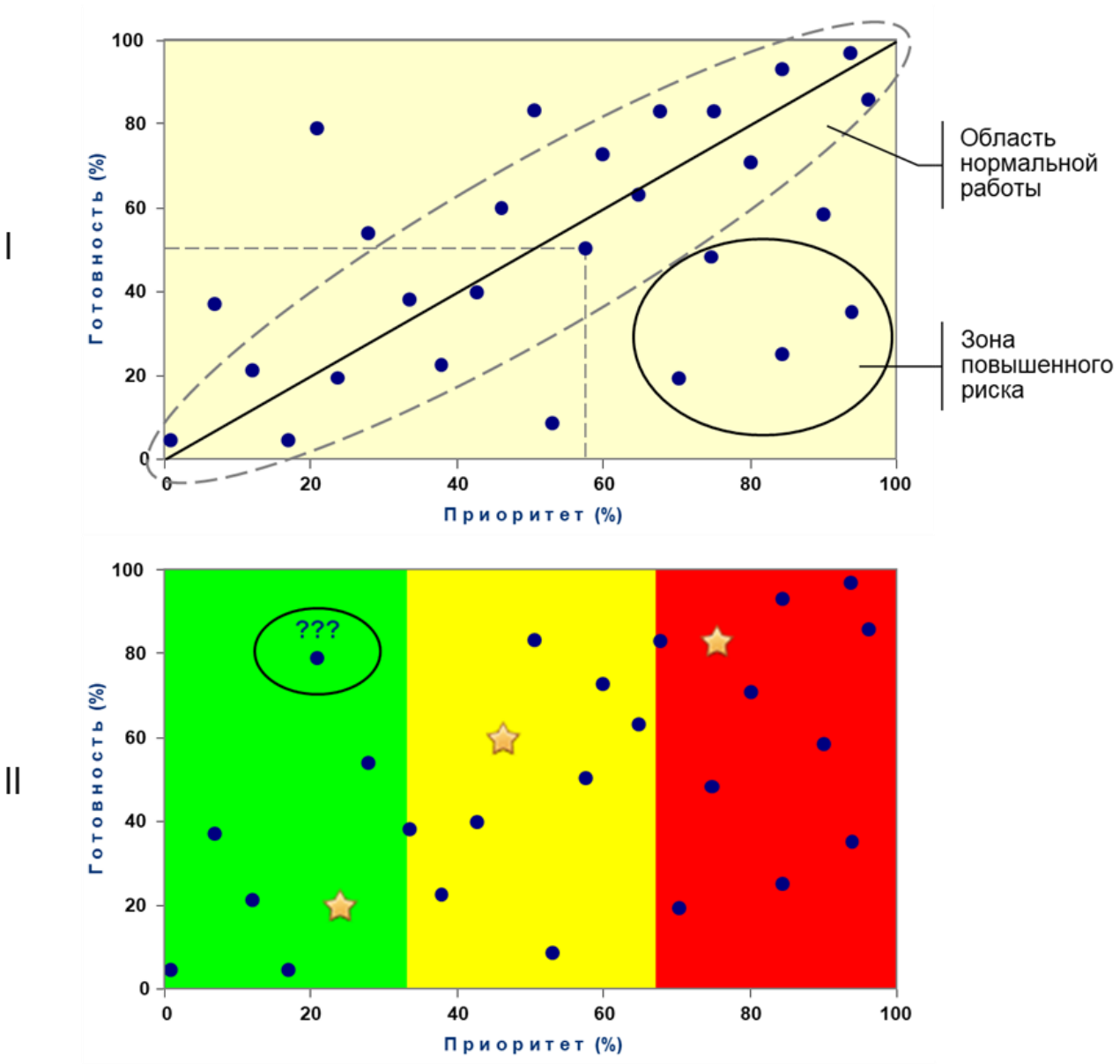


Рис. 7. Диаграмма состояния производства «приоритет – готовность».

состояния производственного задания введён его *размер*, которому пропорциональна площадь отображаемой «точки» (что иногда тоже полезно анализировать и учитывать при решении задач управления запасами).

В мелкосерийном позаказном производстве (особенно с логистикой «завода типа А») бывают важны и другие аспекты текущего состояния, так как обычно ставится задача оценки положения дел в целом по группе связанных между собой заданий для находящихся на разных стадиях изготовления отдельных партий деталей, сборочных единиц и узлов, причём с завершением не как можно раньше, а к определённым срокам в соответствии с многоуровневой структурой составов изделий. Кроме того, поскольку суммарные операционные времена здесь, как правило, занимают незначительную долю от общей длительности производственных циклов, то на этапе диспетчирования всегда имеется возможность что-то ускорить, а что-то замедлить или вообще приостановить. Поэтому, например, модельная ситуация с точкой в левом верхнем углу на диаграмме II рис. 7 (со знаком «???») также требует специального разбирательства: зачем токарь Иванов вместо выполнения срочных заданий довёл до готовности 80% партию деталей с низким приоритетом? С этой целью можно использовать вариант идентификации области нормальной работы, зоны пристального внимания и зоны повышенного риска как на рис. 8 (б), – где светло-голубым фоном обозначена дополнительная *область опережения*.[14] Однако в любом случае у вас прежде всего должна быть система с внятной моделью управления, а в рамках модели – информационные объекты, обеспечивающие описание интегральных характеристик текущего состояния в виде производственных заданий с необходимыми ключевыми атрибутами.

(а) (б)

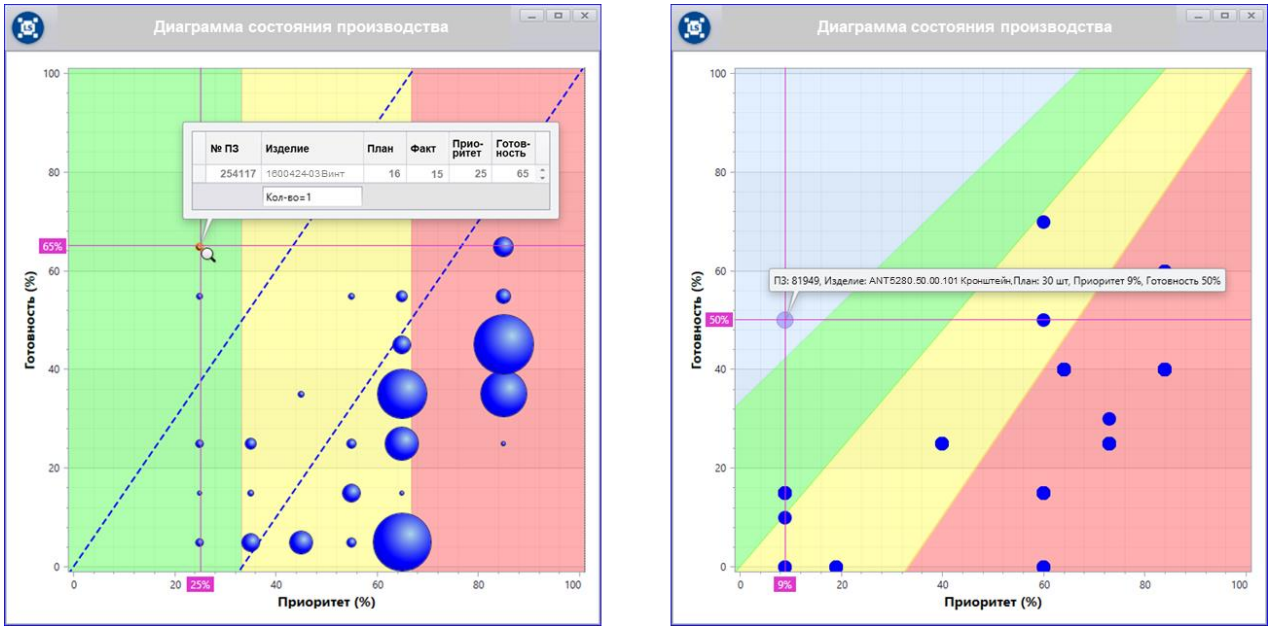


Рис. 8. Примеры визуализации состояния производства (*S-DBR / MTA / DBM*)[2].

ВЫВОДЫ

- Модель управления производством по принципу «бери больше, кидай дальше» предполагает следующий алгоритм действий: (1) проанализировать отчёт о загрузке станков, (2) наказать тех, кто не освоил за смену 8 нормочасов, (3) дать указание дозагрузить оборудование, (4) вернуться к п. 1. Причём для её информационной поддержки годится почти любая современная учётная система, развёрнутая на цеховом уровне предприятия.

- Для эффективной работы в условиях операционной среды динамической сложности (характерной для мелкосерийного и единичного позаказного производства) требуется применение более адекватных моделей и инструментов автоматизации, реализуемых в рамках управляющей системы.

- Информационная система может считаться управляющей только в том случае, если в ней имеется *явный механизм раннего предупреждения о возможности проявления негативных последствий в будущем*.

- При наличии подходящей и правильно настроенной управляющей системы ЛПР'ам достаточно регулярно наблюдать за «приборной доской» в виде одной или нескольких наглядных диаграмм состояния производства и вмешиваться в текущий процесс с корректирующими установками только в отдельных случаях попадания его в зону повышенного риска либо, возможно, в область опережения (см. Приложение 2).

ССЫЛКИ И КОММЕНТАРИИ

1 В оригинальном виде эти известные афоризмы выглядят следующим образом:
   - Информация, которая у вас есть, не та, которую вы хотели бы иметь.
   - Информация, которую вы хотели бы иметь, не та, которая вам нужна.
   - Информация, которая вам нужна, не та, которую вы можете получить.
   - Информация, которую вы можете получить, сто́ит дороже, чем вы можете заплатить.

   Их первоисточником считается книга: **Бернстайн П.** *Против богов. Укрощение риска.* – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2000, с. 220.

2 *Система планирования и контроля производства LS12.* – http://www.lipro.ru/Load/1-Общее_описание_LS12.pdf

3 Краткая характеристика предлагаемой концепции, принципов и подходов содержится в двух презентациях: (I) *Как стать Тойотой при мелкосерийном производстве,* – https://www.youtube.com/watch?v=CXRGXmsBTho; (II) *Модель управления производством: есть ли альтернатива Тейлору?* – https://www.youtube.com/watch?v=vv1CavUq2mA

4 Понятия детальной и динамической сложности ситуаций описаны, например, в

книге: **Сенге П.** *Пятая дисциплина: Искусство и практика самообучающейся организации.* – М.: Олимп-Бизнес, 2005.

5 **Hopp W., Spearman M.** *Factory Physics.* – McGraw-Hill / Irwin, 2007.

6 См., например: **Гараедаги Дж.** *Системное мышление. Как управлять хаосом и сложными процессами: платформа для моделирования архитектуры бизнеса*. – Минск: Гревцов Паблишер, 2007.

7 См., например: **Klages R.** *Introduction to dynamical systems.* – School of Mathematical Sciences, Queen Mary, University of London, 2008; https://www.researchgate.net/publication/268444274_Introduction_to_Dynamical_Systems_Lecture_Notes

8 **Deming W. E.** *Out of the crisis.* – The MIT Press, 2000; p. 121. В оригинале высказывание приписывается Ллойду Нельсону и звучит так: «*The most important figures that one needs for management are unknown or unknowable».* В российских изданиях книги слово “unknowable” переводится как «количественно неопределимы», что, на мой взгляд, серьёзно искажает смысл всего утверждения.

9 См., например, в моей заметке: **Жаринов С.** *О мотивации и демотивации работников.* – http://www.lipro.ru/Load/5-О_мотивации_работников.pdf

10 **Моруа А.** *Управлять по-русски.* – СПб: Издательский дом «Би», 2005; с. 31-32.

11 Иногда приходится слышать, что уже где-то на подходе маячит «искусственный интеллект» (ИИ), который полностью заменит ЛПР’ов. Ну, во-первых, до такого счастливого времени нужно ещё дожить, и при этом как-то управлять своим производством. А во-вторых, боюсь, что при столкновении с коллективным разумом персонала (обычно успешно справляющимся с нейтрализацией любых инициатив начальства) у ИИ может возникнуть серьёзный когнитивный диссонанс, переходящий в полный разрыв шаблона. Так что либо совсем без людей, либо пока без ИИ.

12 **Жаринов С.** *Почему 1С не годится для управления мелкосерийным производством.* – http://www.lipro.ru/Load/7-Об_1С.pdf

13 В данном случае для динамической корректировки параметров модели управления применялся адаптивный алгоритм IIR-FIR фильтрации временных рядов (собственная разработка автора совместно с Д.Н. Стукаловым). Описание базовых подходов *S-DBR / MTA / DBM* выходит за рамки настоящей заметки; см., например: *Theory of constraints handbook* (Edited by James F. Cox III & John G. Schleier, Jr.) – The McGraw-Hill Companies, Inc., 2010.

14 Предлагаемый инструмент визуализации внешне напоминает то, что в русскоязычных источниках по ТОС часто называют «диагональным буфером», первоначально разработанным в рамках подхода к управлению проектами по методу критической цепи. Однако, с моей точки зрения, само это название может вводить в заблуждение, – поскольку на соответствующих изображениях обычно не приводится никаких диагоналей. Кроме того, для построения диаграммы типа «приоритет – готовность» используются другие информационные объекты.

Баошичи (ЧГ), июнь 2021 г.

Приложение 1

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ *LS12*

Ниже приводится краткая характеристика (без обоснований и детализации) основных информационных объектов и элементов модели управления, реализованных в «*Системе планирования и контроля производства LS12*».

Производство рассматривается как разновидность цепочки поставок, то есть как некоторая сеть из процессов и мест хранения, предназначенная для преобразования входного сырья в выходную готовую продукцию.

Структура производства в самом общем случае представляется в виде двух крупных блоков (заготовительные / обрабатывающие подразделения и сборка), разделённых точкой комплектации, и как минимум трёх логических складов, – сырья и материалов, комплектации и готовой продукции. При этом элементарным объектом операционной среды считается *производственный участок*, то есть обособленная (организационно и/или территориально, физически и/или логически) совокупность производственных ресурсов (рис. П.1.1; здесь ДСЕ это деталь либо сборочная единица). Допускается вложенность и многоуровневая (в том числе древовидная) организация подчинённости подразделений.

Изделие – информационный объект с обязательными атрибутами: уникальный артикул, название, единица измерения, тип, класс, вид управления с указанием необходимых параметров, а для изготавливаемых изделий хотя бы одна маршрутная карта (рис. П1.2.а). *Маршрутная карта* представляет собой упо-

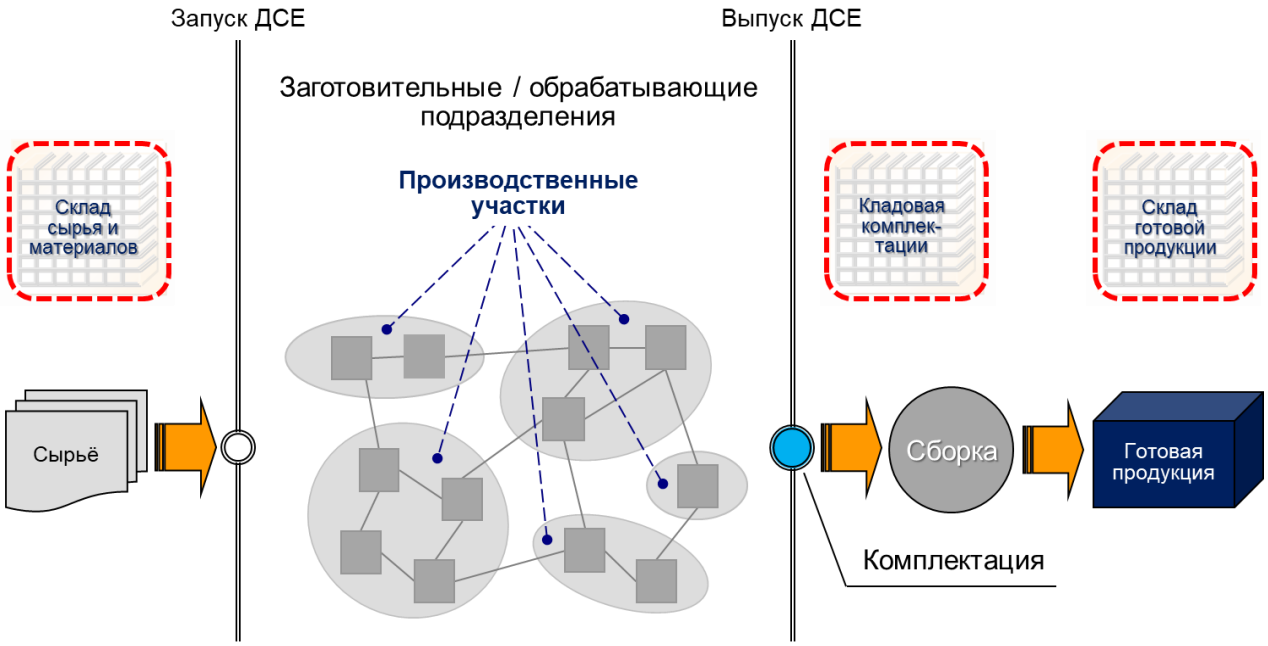


Рис. П1.1. Условная схема базовой структуры производства.

рядоченный список «обобщённых производственных операций» (ОПО), соответствующих отдельным этапам обработки, например, совокупности технологических операций по изготовлению ДСЕ, выполняемых последовательно на одном и том же производственном участке из одного и того же набора применяемых материалов.

Важнейшим атрибутом ОПО является «*готовность*», характеризующая долю конкретного этапа обработки в процессе изготовления изделий по данной маршрутной карте, значение которой может устанавливаться исходя из любых содержательных соображений, в том числе, – но не обязательно, – в соответствии с трудоёмкостью отдельных переделов (суммарная готовность по всем ОПО в

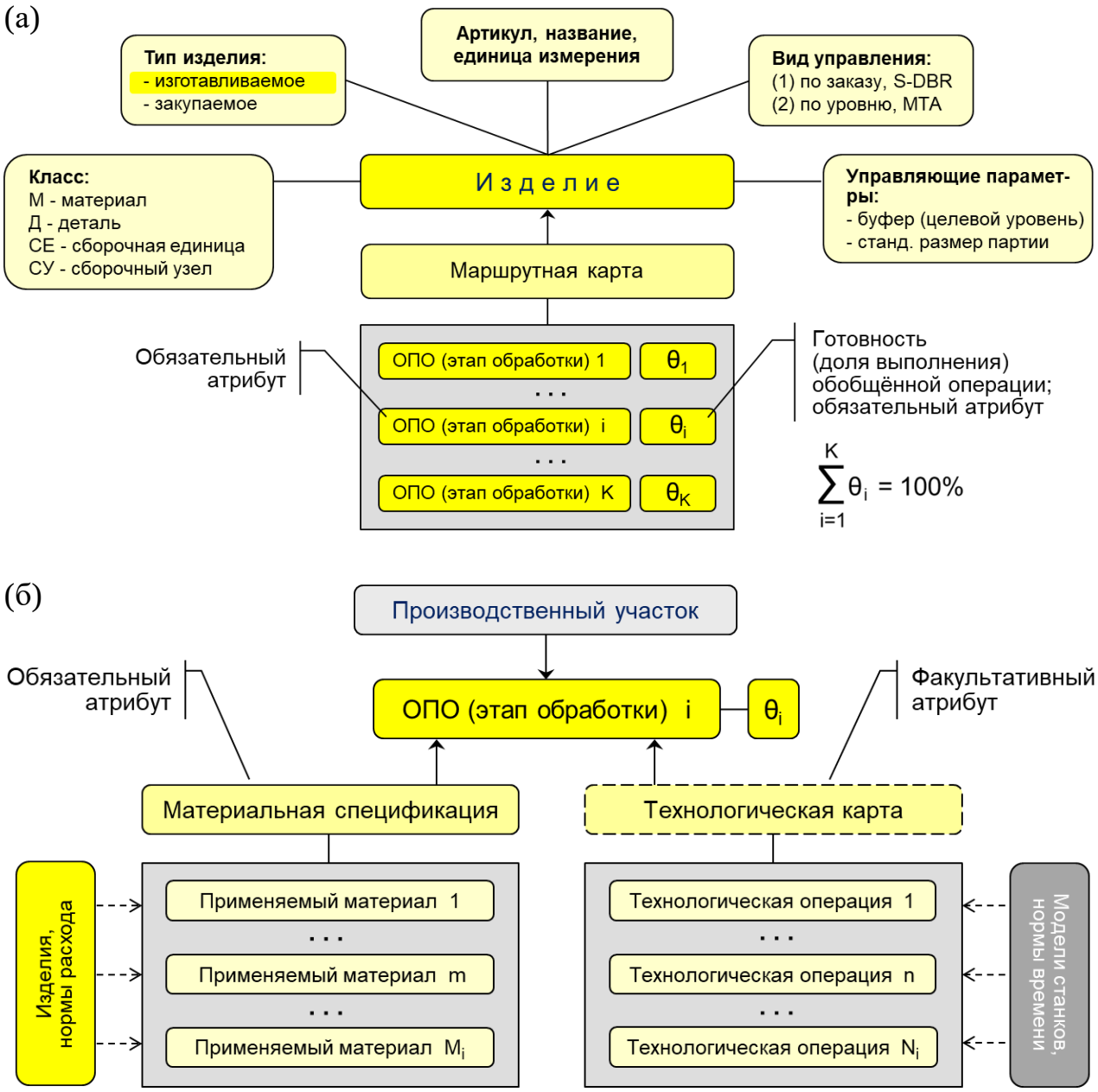


Рис. П1.2. Структура изделия, маршрутной карты (а) и этапа обработки (б).

каждой маршрутной карте составляет 100%). Кроме того, к любому этапу при необходимости может быть привязана материальная спецификация в виде перечня входящих материалов, ДСЕ или сборочных узлов с установленными нормами расхода, а также (факультативно) технологическая карта в виде упорядоченного списка конкретных технологических операций с указанием моделей станков и соответствующих нормативов времени (рис. П1.2.б). Имеется возможность представления производственного маршрута изготовления изделия в виде серии вложенных друг в друга «заводов типа I» (по схеме так называемой *конвейерной сборки*).

Реализованное информационное представление структуры производства и составов изделий позволяет в рамках различных логистических схем моделировать любые типовые стратегии рыночного позиционирования, включая:

- изготовление под заказ (make-to-order),
- изготовление на склад (make-to-stock),
- сборку под заказ (assemble-to-order),
- разработку под заказ (engineer-to-order).

Собственно **модель управления производством** построена на главных логистических принципах *Toyota Production System* и показана на рис. П1.3 в общем случае для «завода типа А» и позаказного позиционирования с комбинированным (под заказ / на склад) контролем питающих потоков. Её основными компонентами являются:

- *задающий ритм процесс*, расположенный на сборке (в точке схождения основных материальных потоков) и выполняющий роль стратегического огра-

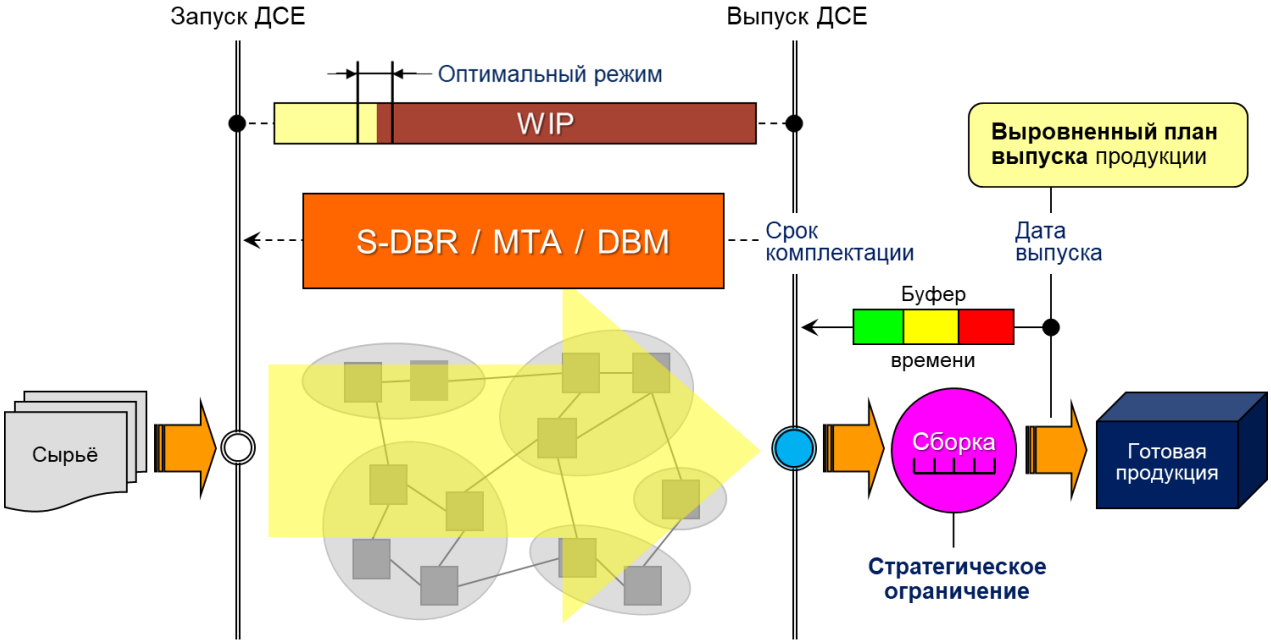


Рис. П1.3. Базовая модель управления производством (завод типа А).

ничения системы, для которого составляется *выровненный план выпуска*, – «вручную» либо на основе решения задачи математической оптимизации, обеспечивающего при равномерной загрузке сборки максимально возможное количество различных видов конечной продукции, планируемых к изготовлению в каждом из интервалов времени (день, неделя, месяц, – аналог большой хейдзунки);

- *вытягивание на сборку* в виде набора методик планирования и диспетчирования материальных потоков изготовления ДСЕ с целью получения комплектующих в заданном количестве к заданным срокам (при управлении «по заказу», *S-DBR / DBM*) либо поддержания соответствующих складских запасов (при управлении «по уровню», *MTA/DBM*);
- *стабилизация потоков* с помощью встроенных механизмов прямого контроля размеров незавершённого производства (*WIP*) и *визуализация процессов* с применением ряда оригинальных графических инструментов в составе «приборной доски» управления системой (см. Приложение 2).

S-DBR (Simplified Drum-Buffer-Rope) – логистическое решение ТОС типа «барабан-буфер-верёвка». Схема этого механизма на примере позаказного поступления ДСЕ в кладовую комплектации показана на рис. П1.4. Здесь в результате планирования «назад» от известного срока комплектации или выпуска на величину *буфера времени цикла изготовления* (главного параметра решения) определяются предварительные сроки запуска в производство соответствующих партий изделий. Так, в приведенном модельном примере с тремя разными ДСЕ плановые даты начала изготовления будут установлены за 6, за 9 и за 15 дней до срока комплектации.

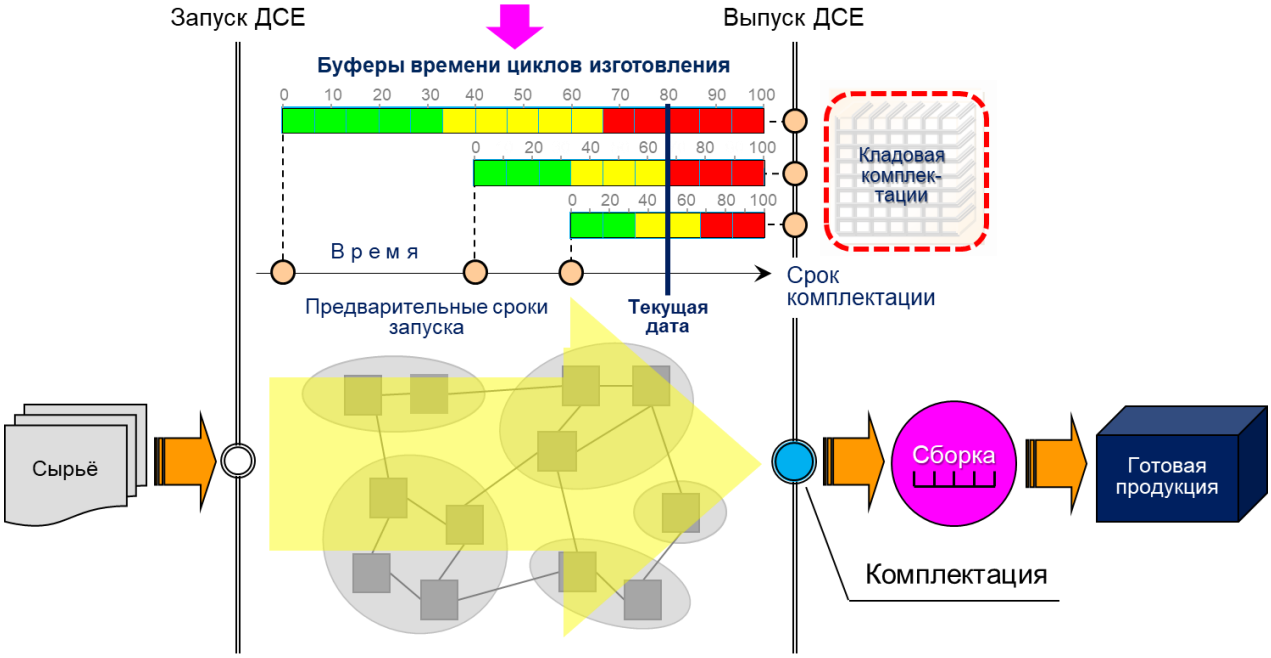


Рис. П1.4. Схема вытягивания ДСЕ на сборку по методике *S-DBR*.

Что касается исходных *сроков выпуска* входящих управляемых «по заказу» деталей, сборочных единиц и узлов, а также сроков поставки закупаемых материалов и комплектующих, то они определяются структурой применяемости. Предположим, что для некоторого головного изделия задан срок выпуска T_1 и буфер времени T, так что плановая дата его запуска равна (T_1 – T). Если маршрутная карта изготовления этого головного изделия содержит K этапов обработки, причём входящее изделие применяется на этапе с номером i, то плановое время начала этапа i и, следовательно, срок завершения производства либо поставки соответствующего закупаемого входящего изделия определяется из соотношения:

$$\mathbf{t_i} = (T_1 - T) + \frac{2}{3} \cdot T \cdot \sum_{j=1}^{i-1} \theta_j, \quad i = 1, \ldots, K$$

где коэффициенты θ_i, i = 1, ..., K, представляют собой установленные значения готовности по этапам обработки.

<u>MTA</u> (Make-To-Availability) – логистическое решение TOC для обеспечения наличия изделий при работе «на склад». Схема этого механизма на примере некоторой ДСЕ в кладовой комплектации показана на рис. П1.5. Здесь анализируется «буфер запасов», представляющий собой сумму имеющихся в наличии изделий и объёма незавершёнки (то есть находящихся на разных стадиях обработки партий их изготовления P_1, ..., P_{M-1}). В случае, если в какой-то момент времени фактическое значение буфера запасов оказывается ниже установленного для данной ДСЕ *целевого уровня* (главного параметра решения), то формируется потребность на пополнение в размере образовавшегося дефицита. Так, в приведенном модельном примере дефицит составляет 15% от целевого уровня и, следовательно, – в зависимости от заданного вида партионности, – в

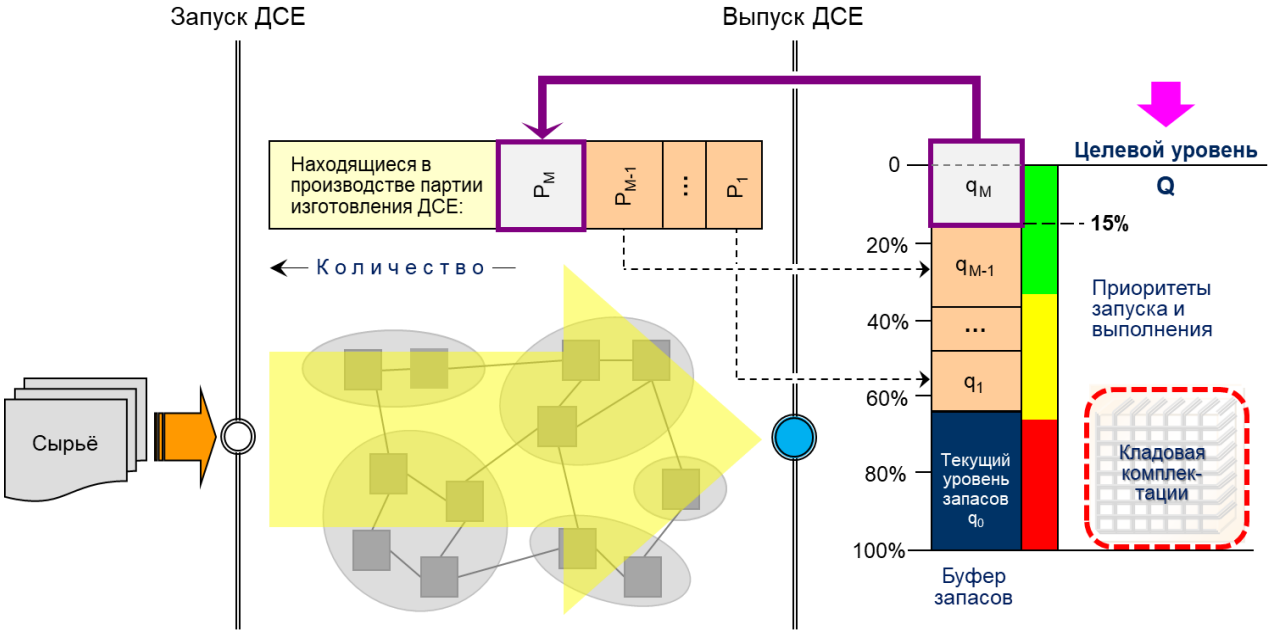


Рис. П1.5. Схема вытягивания ДСЕ на сборку по методике *MTA*.

дополнение к уже имеющимся создаётся ещё одно задание P_M (на всю величину дефицита или, как в примере, с профицитом), либо набор заданий на изготовление данной ДСЕ несколькими партиями стандартного размера. При этом так называемый *статус SKU* определяется как 100% минус доля наличных запасов относительно целевого уровня (в примере 64%).

DBM (Dynamic-Buffer-Management) – набор методов «ручной» либо автоматической корректировки главных параметров логистических решений *S-DBR* и *MTA* по результатам анализа изменений во времени характеристик операционной среды и/или внешнего окружения.

Потребность – информационный объект с обязательными атрибутами: изделие, количество (в единицах измерения изделия), срок реализации и *обеспечение*. Потребности бывают двух видов: исходные (или плановые) и чистые (или текущие). Так, если по заказу нужно поставить клиенту 100 единиц некоторой готовой продукции, и 30 из них уже отгружено в рассматриваемом плановом периоде, то количество по исходной потребности – 100, а по чистой – 70.

Обеспечение – специальный атрибут потребности, совокупность активных ресурсов (запасов, *производственных заданий* или заказов на закупку), сумма размеров которых перекрывает количество по данной потребности. При этом отдельные задания или заказы могут иметь плановые даты выпуска или поставки, превышающие сроки реализации само́й обеспечиваемой потребности.

$\mathbf{r}^i = \{d^i, q^i\}$, d^i – срок реализации, q^i – количество, $i = 1, \ldots, N$; $d^1 \le \ldots \le d^i \le \ldots \le d^N$

$P_m = \{d_m, q_m\}$, d_m – дата выпуска, q_m – размер, $m = 1, \ldots, M$; $d_1 \le \ldots \le d_m \le \ldots \le d_M$

Баланс: $\sum_{m=0}^{M} q^i_m = q^i$, $i = 1, \ldots, N$; $\hat{}q^i = \sum_{\{m:\, d_m > d^i\}} q^i_m$, $i = 1, \ldots, N$; $\tilde{}q_m = q_m - \sum_{i=1}^{N} q^i_m$, $m = 0, \ldots, M$

Чистые потребности по изделию $\mathbf{r}^i$: $i = 1, \ldots, N$		Складской запас по изделию	Производственные задания (заказы на закупку): P_m, $m = 1, \ldots, M$					
			d_1	…	d_m	…	d_M	Дата
Срок	Кол-во	q_0	q_1	…	q_m	…	q_M	Размер
d^1	q^1	q^1_0	q^1_1	…	q^1_m	…	q^1_M	$\hat{}q^1$
…	…	…	…	…	…	…	…	…
d^i	q^i	q^i_0	q^i_1	…	q^i_m	…	q^i_M	$\hat{}q^i$
…	…	…	…	…	…	…	…	…
d^N	q^N	q^N_0	q^N_1	…	q^N_m	…	q^N_M	$\hat{}q^N$
	Профицит:	$\tilde{}q_0$	$\tilde{}q_1$	…	$\tilde{}q_m$	…	$\tilde{}q_M$	Дефицит:

Рис. П1.6. Схема обеспечения потребностей активными ресурсами.

Так, сформированное сегодня задание на партию изделий с буфером времени цикла изготовления T получит плановую дату завершения не раньше, чем через T дней, что предполагает повышенный риск дефицита при обеспечении им более ранних потребностей. Поэтому в рамках рассматриваемой модели управления действует механизм регулярного пересчёта обеспеченности, формальное описание которого представлено на рис. П1.6, а суть состоит в том, что потребности с более ранними сроками реализации должны удовлетворяться активными ресурсами с более ранними датами выпуска или поставки. При этом любая потребность может обеспечиваться несколькими заданиями или заказами на закупку, а текущая структура обеспеченности, – по мере изменения состояния производства и условий внешнего окружения, – подвержена динамическим корректировкам.

Производственное задание (ПЗ) – особый объект для описания сквозного процесса изготовления партии деталей, сборочных единиц или узлов от запуска до выпуска с основными атрибутами, указанными на рис. П1.7. Отсутствие подобного объекта в информационной модели (как, например, в 1С) существенно ограничивает возможности организации процессного управления.

Первоначально производственные задания создаются автоматически в ходе планирования, синхронизации и обеспечения активными ресурсами потребностей всех уровней, причём по умолчанию принимаются параметры составов изделий из исходных маршрутных карт. Однако в дальнейшем, – с учётом текущего состояния и потребностей производства, – отдельные реквизиты ПЗ

Рис. П1.7. Структура информационного объекта «производственное задание».

могут быть скорректированы средствами диспетчирования, включая замену этапов обработки, применяемых материалов и технологических операций из альтернативных маршрутных карт. При этом одно и то же незавершённое ПЗ в разные моменты времени может обеспечивать одну или несколько потребностей, а может не обеспечивать ни одной (см. Приложение 2).

Производственный план – информационный объект в виде объединения плановых потребностей (то есть чистых потребностей на момент утверждения данного плана). В рамках рассматриваемой модели управления для позаказного позиционирования в общем случае используется следующий иерархический набор из пяти связанных между собой составляющих:

- *План продаж* (отгрузки готовой продукции, *SOP*, Sales & Operations Plan), – в виде списка позиций внешних заказов, скорректированного по факту уже выполненных поставок.
- *Главный план производства* (выпуска конечных изделий, *MPS*, Master Production Schedule), получаемый из *SOP* после учёта текущего состояния склада готовой продукции, – с возможностью разбиения по количеству и срокам на отдельные позиции при помощи встроенных инструментов ручного и автоматического «выравнивания» выпуска.
- *План выпуска сборочных узлов* (график работы сборки, *ARS*, Assembly Release Schedule), – по позициям *MPS* с учётом всех входящих сборочных узлов и текущего состояния незавершённого производства в сборочных подразделениях.
- *План выпуска ДСЕ* (график работы основного производства, *PRS*, Parts Release Schedule), – по потребностям *ARS*, скорректированным на величину запасов в кладовых комплектации и с учётом текущего состояния незавершённого производства в заготовительных и обрабатывающих подразделениях.
- *План поставки материалов* (*MRP*, Material Requirements Plan), – по потребностям *ARS* и *PRS* с учётом текущего состояния склада материалов и уже сделанных ранее заказов на закупку.

Рис. П1.8 на примере одной исходной потребности в виде позиции внешнего заказа иллюстрирует работу процедуры формирования и календарной синхронизации потребностей остальных уровней, для обеспечения которых по всему составу и структуре входимости конечного изделия, – сверху вниз, – анализируются и резервируются имеющиеся в наличии свободные складские запасы и незавершённые производственные задания. При этом по расчётным «чистым» потребностям в дополнительном запуске изготавливаемых входящих автоматически создаются новые обеспечивающие задания, а для закупаемых изделий формируются заказы на их поставку к заданным срокам.

Заметим, что для изделий (материалов, деталей, сборочных единиц или узлов) с видом управления «по уровню» изначально предполагается, что заранее не известно, – когда, в каком количестве и под какие конкретные задания либо заказы они будут использованы. Потребности их поставки или производства определяются не сроками, а общей динамикой спроса, так что фактически эти изделия изготавливаются либо закупаются независимо друг от друга. Поэтому предварительное составление планов запуска и выпуска для них лишено смысла, как и синхронизация потребностей разных уровней, а наличие соответствующих складских запасов поддерживается описанными ранее инструментами методики *MTA/DBM* (см. также примеры в основном тексте).

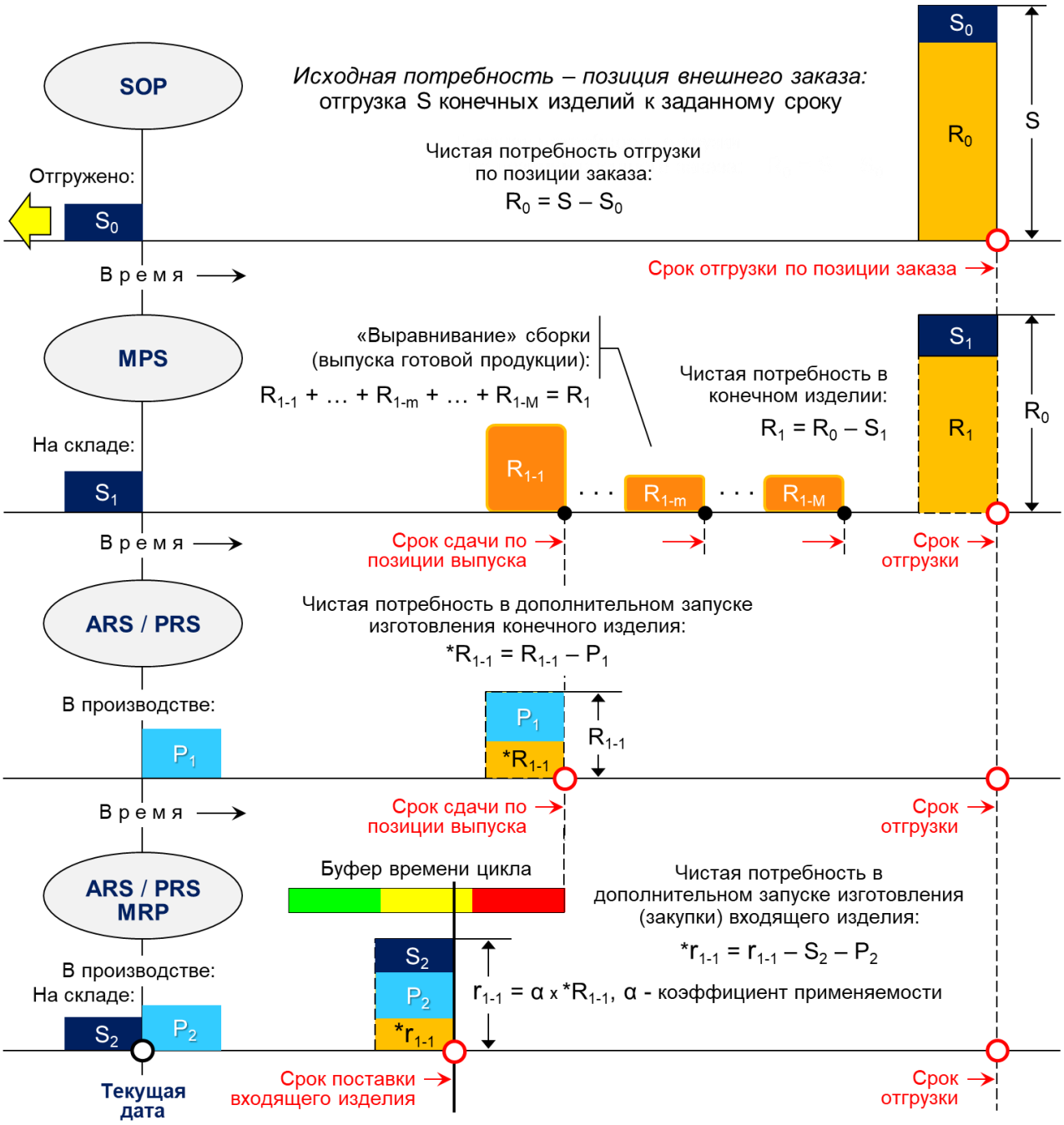


Рис. П1.8. Схема формирования производственных планов.

Приоритет – одна из двух ключевых характеристик текущего состояния ПЗ, показатель срочности выполнения данного производственного задания относительно обеспечиваемой им потребности (число в диапазоне от 0 до 100%). В модельном примере по методике *S-DBR* на рис. П1.4 с тремя партиями изделий, начатыми за 6, 9 и 15 дней до предполагаемой даты выпуска, приоритеты соответствующих заданий на текущую дату (за три дня до единого срока комплектации) определяются степенями «пробоя» буферов времени и составляют 3/6 = 50%, 6/9 ≈ 67% и 12/15 = 80%. Согласно принятым в ТОС стандартным правилам цветовой индикации первое задание находится в жёлтой зоне, второе – на границе жёлтой и красной зон, а третье уже пробило границу своей красной зоны. В общем случае в рамках рассматриваемой модели для изделий с позаказным видом управления значение приоритета задания P рассчитывается по следующему правилу:

$$pr\langle P\rangle(S\text{-}DBR) = \begin{cases} 0, \text{ если } D^*+T < D \\ \left(1 - \dfrac{D-D^*}{T}\right) \times 100\%, \text{ если } D^* \le D \le D^*+T \\ 100\%, \text{ если } D < D^* \end{cases}$$

где T – величина буфера времени цикла изготовления изделия, D – срок реализации обеспечиваемой потребности, D* – текущий момент времени.

На рис. П1.9 показан пример ПЗ на изготовление партии из 10 штук некоторых изделий, начатого 7-го числа с плановым сроком завершения 21-го (время цикла 15 дней). На текущую дату (в конце дня 13-го числа) оказалось, что сейчас это задание обеспечивает три потребности с разными сроками реализации (17-го, 24-го и 31-го). Тогда в соответствии с приведенным правилом его приоритет относительно самой ранней из потребностей составляет 80% (красная зона), средней ~33% (на границе жёлтой и красной зон), а самой поздней – 0%. Абсолютный приоритет ПЗ определяется максимальным из относительных по всем обеспечиваемым потребностям и в данном случае равен 80%.

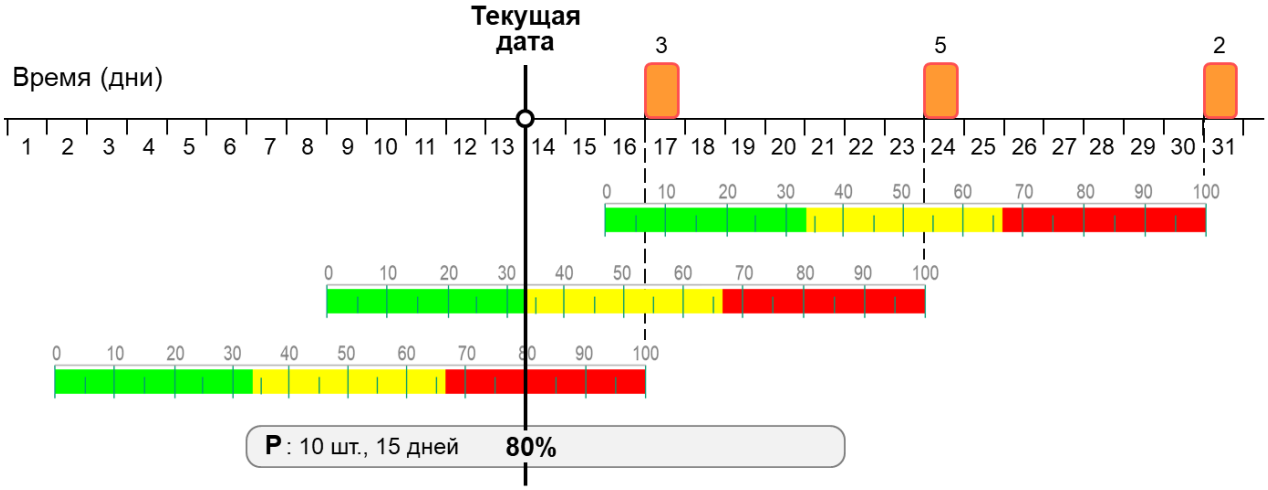


Рис. П1.9. Иллюстрация к расчёту приоритетов производственного задания.

Для изделий с видом управления «по уровню» в рамках методики *МТА* (см. рис. П1.5) абсолютный приоритет производственного задания определяется по формуле:

$$pr < P > (MTA) = (1 - \sum_{i=0}^{m-1} q_i / Q) \times 100\%$$

либо принимается равным нулю при отрицательном расчётном значении, где Q – целевой уровень, q_0 – текущий уровень запасов, q_i – размер обеспечивающего задания P_i, i = 1, …, M. Фактически это доля целевого уровня за вычетом вклада текущих запасов и всех ранее созданных заданий. Так, в модельном примере на рис. П1.5 первое из находящихся в производстве заданий P_1 имеет приоритет 64% (совпадающий со статусом данной SKU), а вновь сформированное задание P_M – 15%. При стандартных правилах цветовой индикации P_1 приближается к границе красной зоны, а P_M располагается в зелёной зоне.

Готовность – вторая ключевая характеристика текущего состояния ПЗ, показатель степени его выполнения (число в диапазоне от 0 до 100%). В рамках рассматриваемой модели управления предполагается организация мониторинга движения материальных потоков в ключевых точках, а именно, начала и завершения заданий, а также прохождения промежуточных постов контроля по маршрутам изготовления партий ДСЕ или сборочных узлов, например, – как представлено на рис. П1.10, – с применением сопроводительных документов типа «маршрутного листа». Действует правило: «пока заказчик (то есть последующий этап) не подтвердил получение, задание числится за поставщиком (то есть предыдущим по маршруту этапом обработки)». При таком подходе готовность производственного задания определяется суммой готовностей по всем уже завершённым этапам обработки.

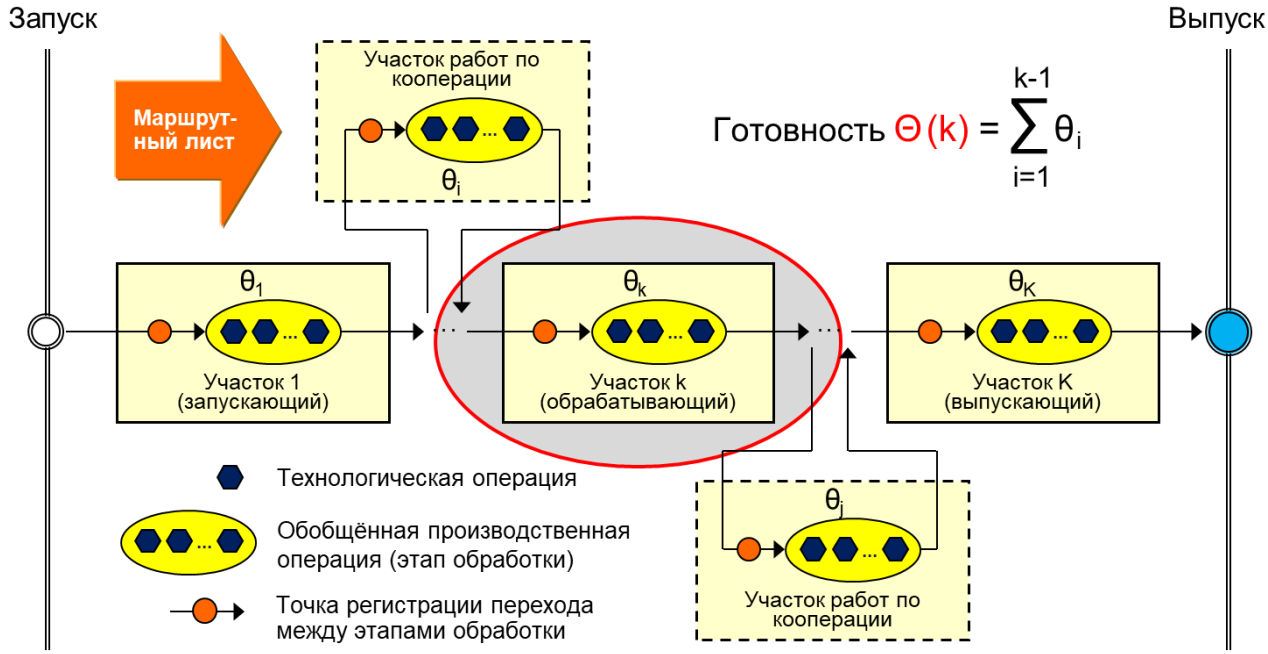


Рис. П1.10. Схема учёта готовности заданий по маршрутам обработки.

Приложение 2

ПРИМЕРЫ ДИСПЕТЧИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА В *LS12*

На рис. П2.1 показан вариант «приборной доски» «*Системы планирования и контроля производства LS12*» одного из машиностроительных заводов, которая позволяет в реальном времени наблюдать за состоянием операционной среды с помощью нескольких встроенных средств визуализации, включая диаграмму «приоритет – готовность» и диаграмму обеспечения. Первая (см. описание в основном тексте) предназначена для анализа ситуации в целом, вторая – для детализации текущего положения дел с обеспеченностью потребностей по конкретным производственным заданиям.

С целью иллюстрации возможностей диспетчирования производства на основе стандартных инструментов и процедур *LS12* рассмотрим модельный пример одного производственного задания P, изначально сформированного для обеспечения потребности в некотором изделии (детали, сборочной единице или узле) с видом управления «по заказу» и буфером времени цикла изготовления 15 дней, причём в момент планирования количество по этой потребности составляло 10 штук, а срок её реализации – 22-е число текущего месяца. Предположим, что задание P было начато 7-го числа с плановым сроком завершения 21-го, то есть ровно за 15 дней (в данном примере все календарные дни считаются рабочими). Исходная диспозиция представлена на рис. П2.2.а,

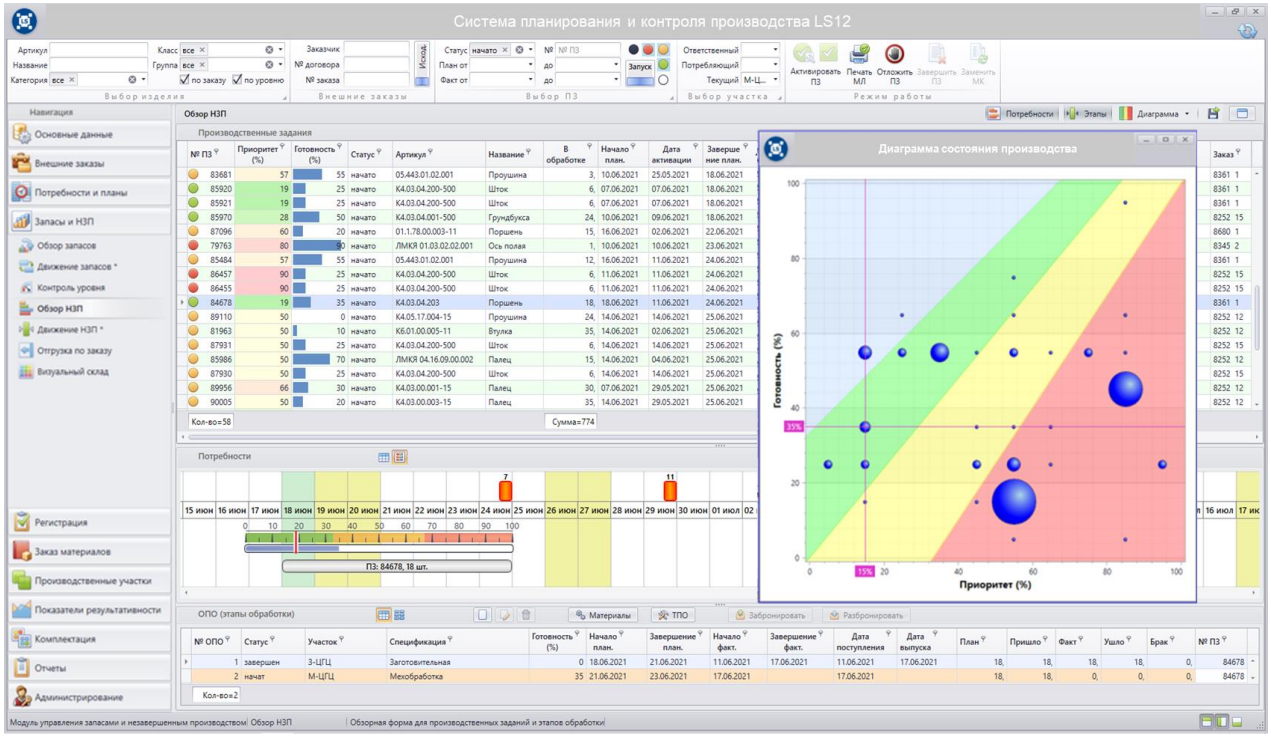


Рис. П2.1. Пример «приборной доски» *LS12* машиностроительного завода.

где видно, что к концу дня 13-го числа при готовности 50% (показатель синего «градусника» на диаграмме обеспечения) и сохранившихся потребностях приоритет задания составлял бы ~47%, а соответствующая точка располагалась бы в весьма комфортной области диаграммы «приоритет – готовность». Однако ситуация изменилась (рис. П2.2.б), и на начало 14-го дня оказалось, что задание P теперь должно обеспечивать не 10 штук изделий, а только 8,

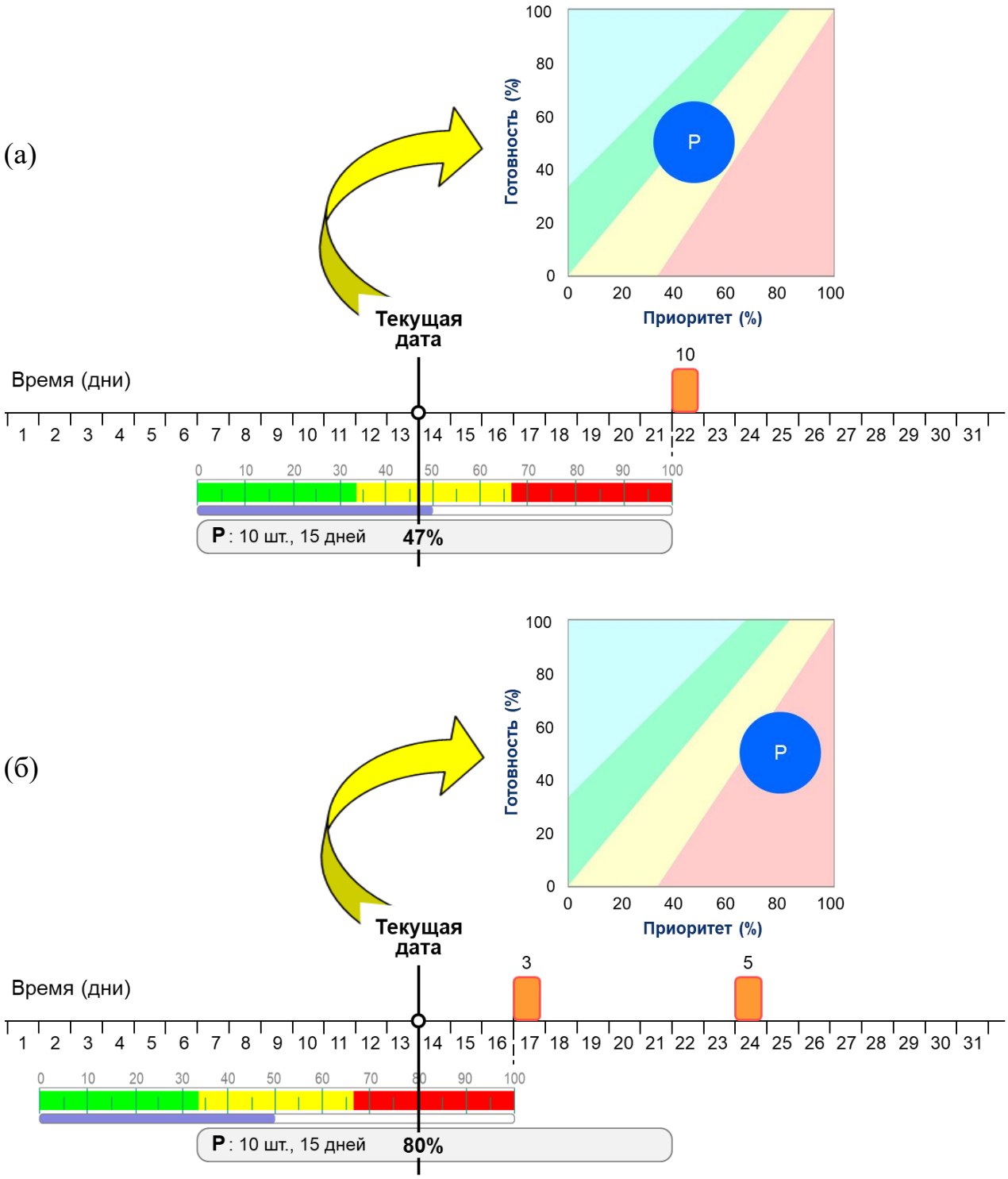
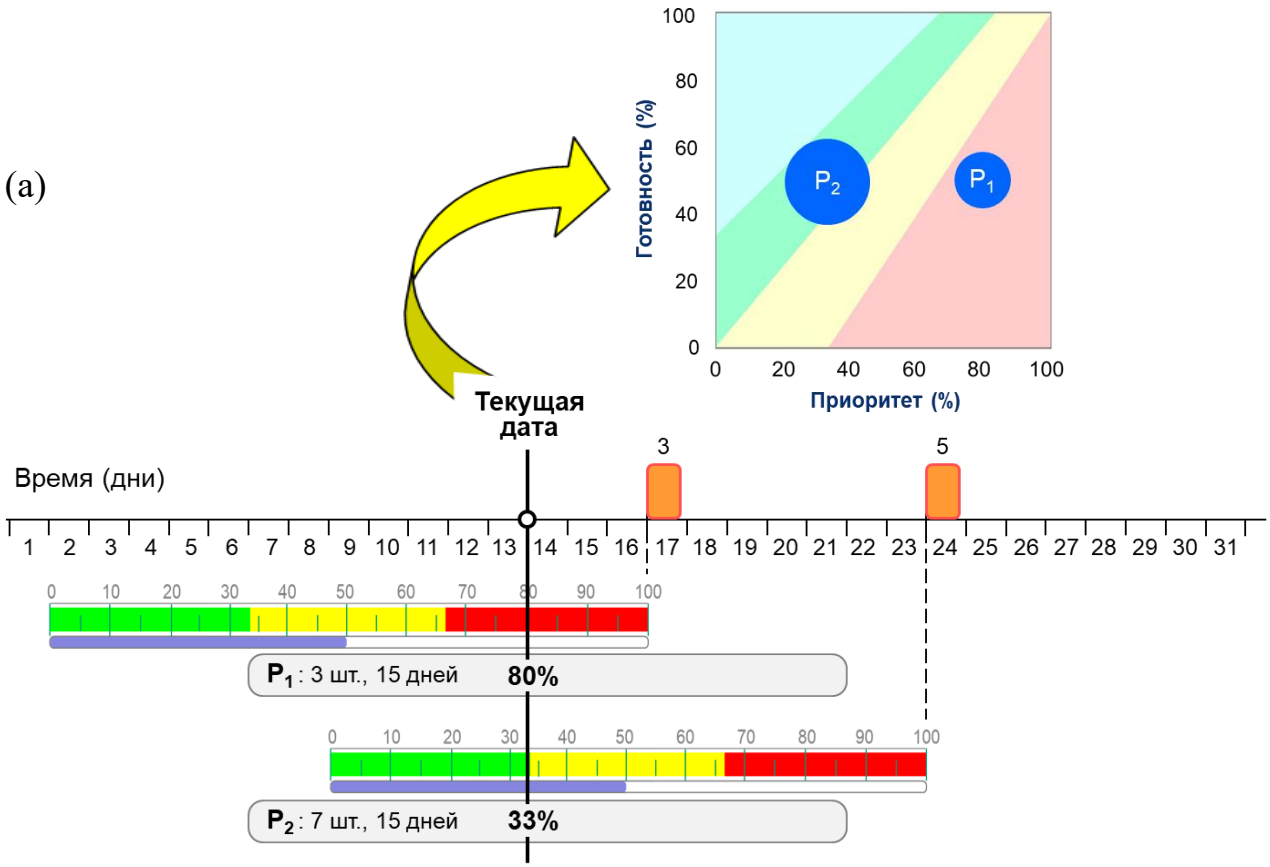


Рис. П2.2. Модельный пример работы с «приборной доской» *LS12* (1).



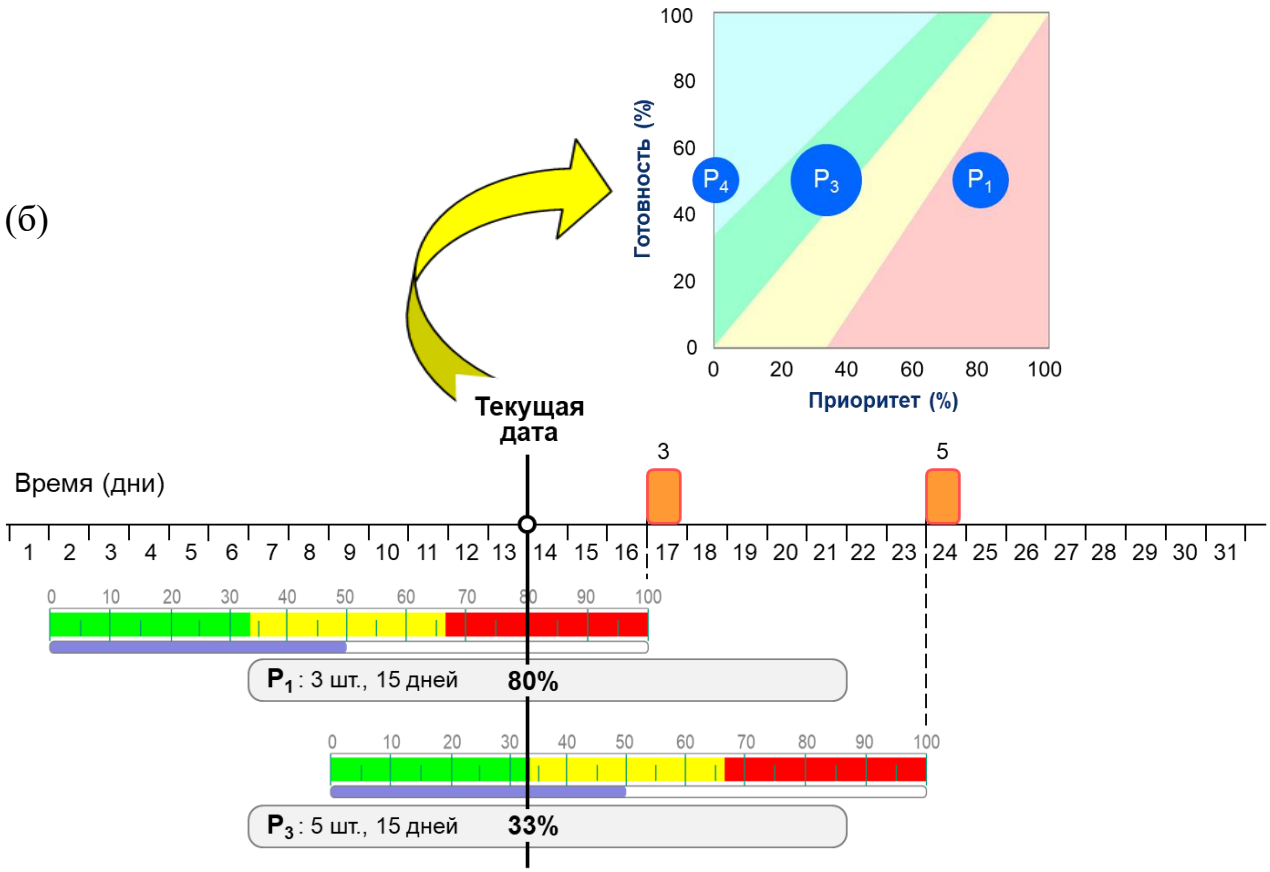


Рис. П2.3. Модельный пример работы с «приборной доской» *LS12* (2).

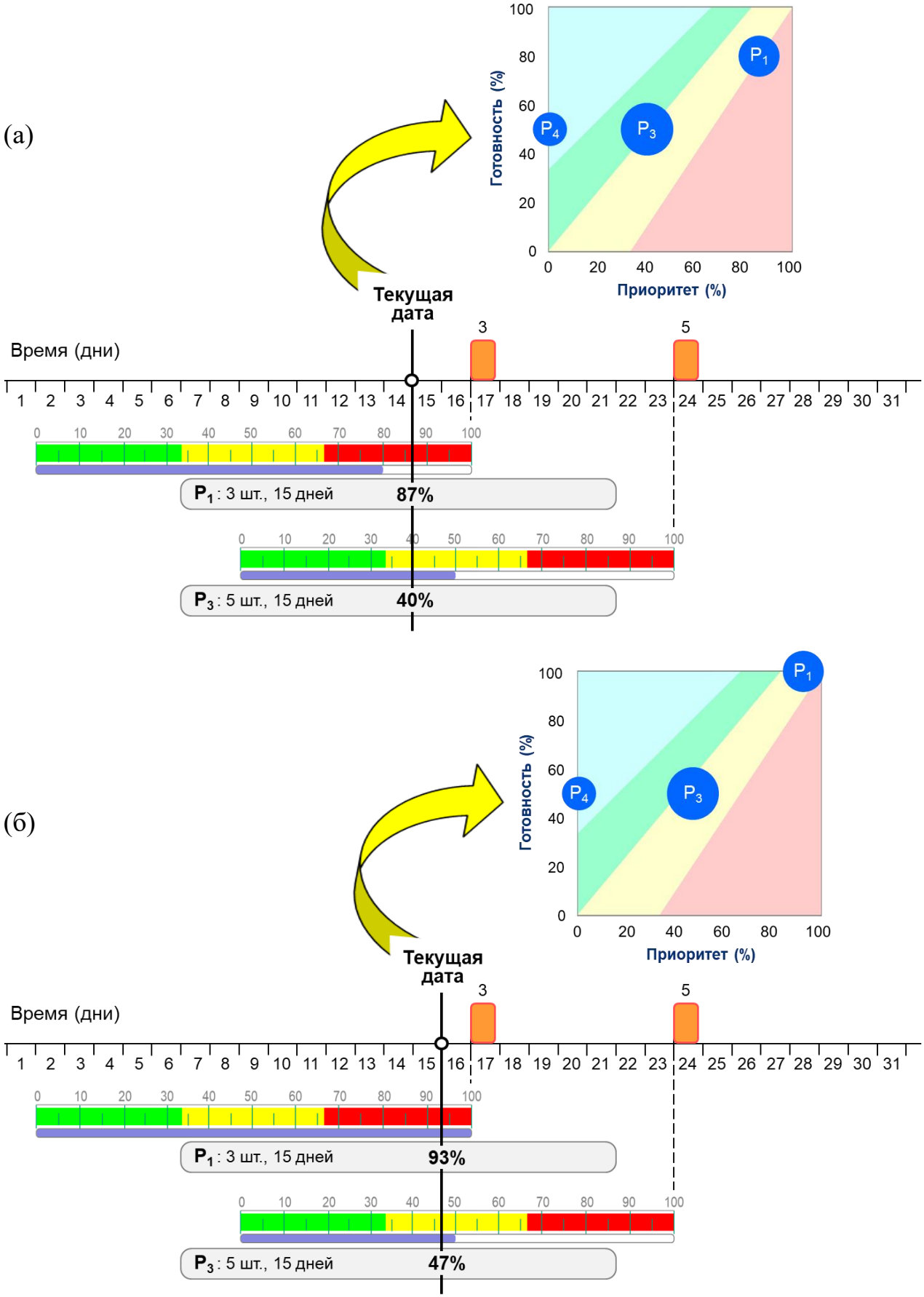


Рис. П2.4. Модельный пример работы с «приборной доской» *LS12* (3).

причём не все к 22-му числу, а 3 штуки к 17-му и 5 штук к 24-му. В таком случае приоритет задания сразу же увеличивается до 80%, а его положение на фазовой плоскости смещается в зону повышенного риска.

Имея подобную информацию «раннего предупреждения», производственники получают возможность оперативно реагировать на изменение условий операционной среды и/или внешнего окружения. Например, заранее узнав (как в данном случае за 3 дня) о корректировке потребностей могут попытаться ускорить прохождение задания P с тем, чтобы завершить его раньше планового срока (то есть за 10 дней вместо 15-ти). Либо согласовать с заинтересованными сторонами перенос самой ранней потребности на более поздний период. Либо разделить задание P на две части (в *LS12* это делается «в один клик»): P_1 на 3 штуки и P_2 на оставшиеся 7 штук, – исходя из представления о том, что за 3 дня реально будет выпустить хотя бы 3 изделия. При этом приоритет задания P_1, очевидно, не изменится, но для P_2 составит всего ~33%, и это задание при той же готовности 50% теперь на фазовой плоскости будет занимать место в области нормальной работы (см. рис. П2.3.а).

А можно пойти ещё дальше, и разделить исходное задание P на три части: P_1 на 3 штуки (как и раньше), P_3 на 5 штук (в соответствии с оставшейся потребностью) и P_4 на 2 штуки (на которые потребностей сейчас нет). Тогда текущее положение дел будет выглядеть как на рис. П2.3.б., то есть задание P_4 с приоритетом 0% и готовностью 50% попадёт в область опережения.

Более того, если предположить, что в последующие 2 дня структура потребностей по рассматриваемому изделию не меняется, задание P_1 выполняется в форсированном режиме (например, за 14-е число его готовность доводится до 80%, за 15-е – до 100%), а задания P_3 и P_4 приостанавливаются, то развитие событий будет отображаться на «приборной доске» так, как это показано на рис. П2.4: (а) в конце дня 14-го числа, (б) в конце дня 15-го числа. Иными словами, в результате осмысленного «точечного» вмешательства в производственный процесс ситуация возвращается в комфортное состояние.