

Часть IV

Планирование и диспетчирование многопередельного дискретного производства в условиях неопределённости

**Слишком детальное планирование это
такое же зло, как избыточные запасы.**

*Эли Шрагенхайм*¹

Убедившись, что все приглашённые на месте, председатель, - он же главный акционер группы производственных предприятий, - открывает внеочередное заседание совета директоров:

— Господа, я собрал вас для того, чтобы сообщить пренеприятное известие. Нет, к нам пока не едет ревизор. Дело гораздо серьёзнее. Вероятно, многие уже слышали о том, что общие итоги работы группы за прошедший год оказались значительно хуже плановых показателей. Как вы знаете, мы всегда возлагали особые надежды на наш завод, который после завершения всех основных мероприятий по оптимизации производственных процессов должен был выпускать не менее 100 изделий в месяц. Мы даже одобрили им кредит на закупку нового оборудования. Конечно, никто не ожидал, что в первый же год мы будем «в шоколаде», но вполне можно было рассчитывать хотя бы на скромные дивиденды. К сожалению, фактически завод весь год в среднем ежемесячно отгружал чуть больше 80 единиц готовой продукции и регулярно приносил нам убытки. И если бы не фабрика, которая продемонстрировала удивительно высокий рост доходности, мы все с вами сегодня сидели бы в глубокой ... , - как бы это поделикатнее выразиться, - яме. Поэтому предлагаю заслушать руководителей обоих предприятий, а потом решим, как нам быть. Начнём с плохих новостей.

— Прежде всего, надо признать, что мы действительно пока не справились с задачей выхода на утверждённый акционерами уровень прибыли, — берёт слово генеральный директор завода. — Однако за прошлый год нам удалось реализовать все запланированные изменения для перехода на новую схему организации производства по принципу сбалансированных мощностей (как на Тойоте), и мы уверены, что в самое ближайшее время это позволит получить значительный эффект.

— Насколько я помню, про ваши достижения в балансировании мощностей вы нам докладывали ещё полгода назад, — прерывает выступающего один из членов совета директоров, хорошо знакомый с современными подходами к управлению производством и изначально скептически относившийся к этой идее. — Что же мешало заводу за вторую половину года получить хотя бы «незначительный» эффект?

– Дело в том, что неожиданно выявилась странная особенность, которой раньше мы не придавали большого значения. Оказалось, что на величину выпуска конечной продукции сильно влияет так называемая вариабельность отдельных этапов производственного процесса, причём наличие нескольких последовательных элементов в цепочке только усугубляет эту негативную тенденцию. Мы даже заказали консультантам специальное исследование, результаты которого есть в представленном совету отчёте². В частности, там доказывается, что если значительно сократить эту самую вариабельность, то можно будет гарантировать устойчивый выпуск на уровне запланированных 100 изделий в месяц. Именно этим мы и занимались в последнее время. Уже есть определённые подвижки, хотя об окончательном успехе пока говорить рано. Но мы намерены и дальше твёрдо идти по пути Тойоты.

– А консультанты не говорили вам, что Тойота идёт по этому пути уже больше 50 лет? – не удовлетворившись полученным ответом, продолжает своё наступление «скептик». – И что до сих пор с целью нейтрализации эффектов вариабельности и зависимости процессов в «идеально» сбалансированных ячейках они продолжают создавать специальные страховые запасы, хотя и не очень большие? Надеюсь, вам известно о назначении «супермаркетов» при организации материальных потоков на принципах бережливого производства? По сути, это и есть те самые страховые запасы, которые предназначены для буферирования остаточной вариабельности. А в вашей схеме я не увидел вообще никаких механизмов защиты от неопределённости. Или вы полагаете, что акционеры будут ждать ещё 50 лет, пока вы сократите отклонения на всех этапах до приемлемого уровня рисков?

– Честно говоря, консультанты и в самом деле высказывали сомнения в возможности быстрого изменения ситуации и даже предлагали свою помощь в разработке альтернативной схемы организации производственного процесса. Но мы абсолютно уверены в том, что движемся в правильном направлении и в состоянии за несколько месяцев самостоятельно реализовать все необходимые улучшения.

– И всё же, можно ли поподробнее ознакомиться с рекомендациями ваших консультантов? – не сдаётся оппонент. – Мне кажется, прежде чем принимать окончательное решение, было бы неплохо сравнить несколько вариантов.

– Правильно, ... согласен, ... поддерживаю, – одобрительно закивали головами другие члены совета, включая председателя.

– Да никаких конкретных рекомендаций и не было, – пытается парировать выпад директор завода, – всего пять страничек с общим описанием подхода. Речь шла об отказе от принятой нами схемы сбалансированных мощностей в пользу синхронизации потока по какому то «ограничению». Мы даже не стали особо разбираться и не включили этот раздел в окончательную версию отчёта. Впрочем, я могу прямо сейчас раздать его копию всем присутствующим.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА (дополнительные предложения консультантов, не вошедшие в отчёт)

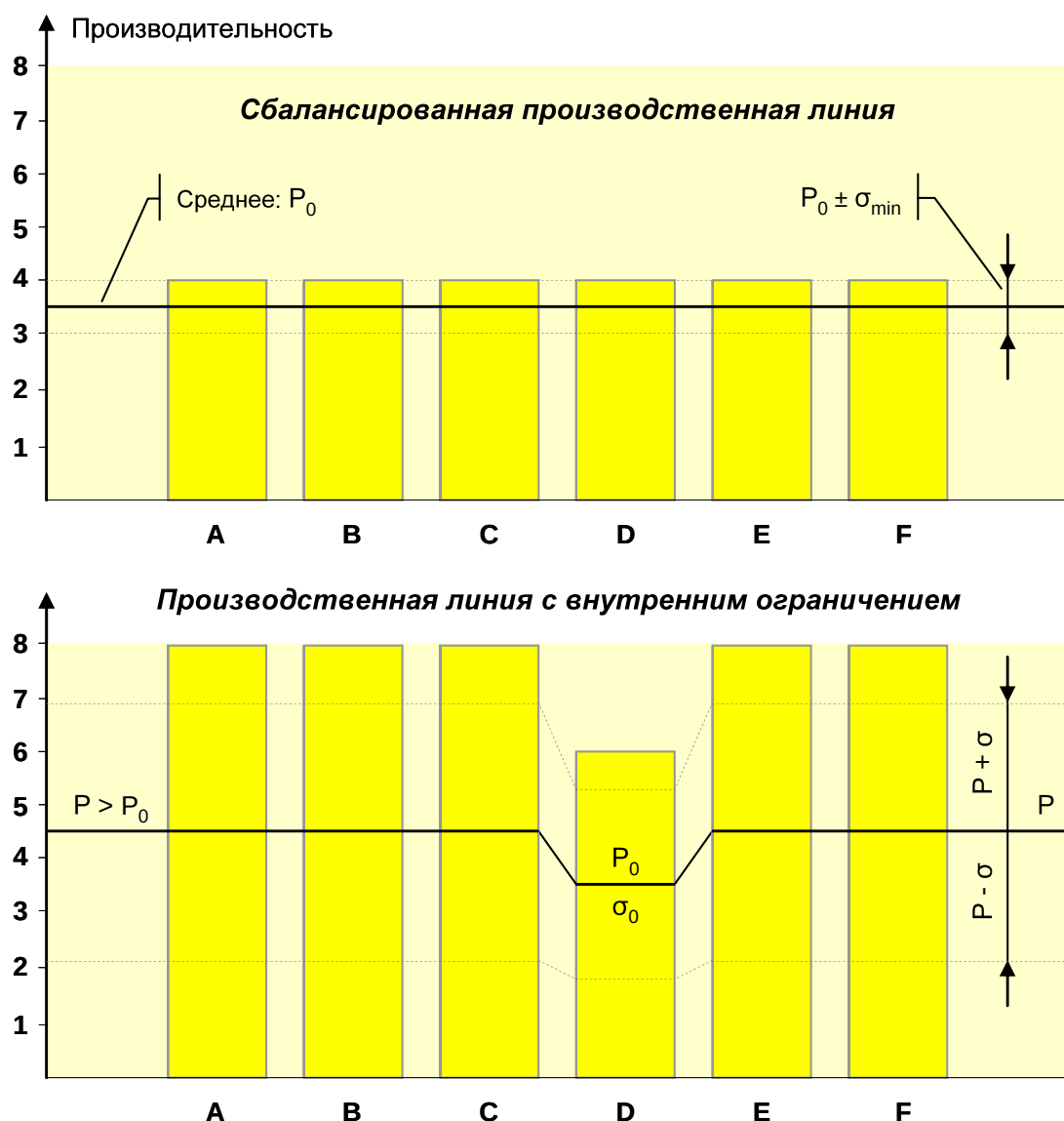
Как было показано в основной части исследования, для гарантированного обеспечения средней производительности системы на уровне 100 изделий в месяц в рамках схемы сбалансированных мощностей необходимо сократить вариабельность всех этапов процесса и поставок в три с половиной раза (с 0,49 до 0,14)³. С нашей точки зрения, на это потребуется не один год, и выполнить такую работу в производственной среде типичного отечественного предприятия за несколько месяцев практически нереально.

Возникает вопрос: а можно ли, - и если да, то каким образом, - реорганизовать систему, чтобы решить ту же задачу в сжатые сроки и при существующем высоком уровне отклонений от средней пропускной способности отдельных ресурсов? Как известно, единственным надёжным способом защиты от неопределённости является «буферирование», иными словами, формирование страховых резервов. Чаще всего для этой цели используются запасы сырья и незавершённого производства. Однако применительно к «сбалансированной» цепочке проблема состоит в том, что для обеспечения её общей пропускной способности на уровне средней производительности отдельных элементов такие запасы требуется поддерживать на каждом этапе процесса. Поэтому при большом числе этапов обработки суммарный размер НЗП в системе (и, соответственно, общая длительность производственных циклов изготовления конечной продукции) значительно возрастает.

В качестве альтернативы предлагается отказаться от схемы сбалансированных мощностей и построить цепочку, в которой средняя производительность всех этапов процесса, - кроме одного, - была бы *немного выше* величины желаемой пропускной способности системы в целом P_0 , а для одного из внутренних ресурсов (ограничения) эта величина в точности равнялась бы P_0 (см. врезку 1, где $P_0 = 3,5$; $\sigma_{\min} = 0,5$ и за ограничение принят рабочий центр **D**). В таком случае отпадает необходимость в поддержании значительных избыточных запасов на всех этапах процесса, а функции страховых резервов выполняют так называемые «спринтерские» или «защитные» мощности ресурсов, не являющихся внутренними физическими ограничениями системы.

Описанная схема известна под названием DBR (Drum – Buffer – Rope) или «барабан – буфер – верёвка» и представляет собой классическое решение ТОС в области производственной логистики⁴. Здесь в роли «барабана», задающего ритм и определяющего пропускную способность всей системы в целом выступает то самое внутреннее ограничение в потоке (ресурс ограниченной мощности); «буфер» измеряется временем, в течение которого задание с достаточно высокой вероятностью проходит путь от запускающего этапа до

Сравнительная схема сбалансированной и несбалансированной цепочки последовательной обработки (1)



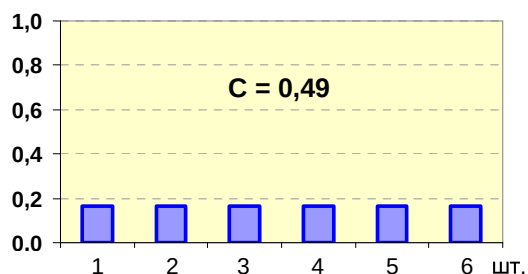
ограничения; под «верёвкой» понимается специальный механизм подстройки (синхронизации) входного потока под ритм работы ограничения, о котором более подробно будет сказано ниже. Таким образом, в предлагаемой схеме неопределённость «буферируется» не запасами, а временем.

На врезке 2 представлены результаты моделирования ситуации (сценарий Г), когда параметры входного потока заготовок и производительности рабочего центра **D** соответствуют первоначальному сценарию (с равной вероятностью от 1 до 6 единиц в день): $P_0 = 3,5$; $\sigma_0 = 1,71$, - а производительность остальных рабочих центров в цепочке составляет с равной вероятностью от 1 до 8 штук в день, то есть $P = 4,5$; $\sigma = 2,29$. Следовательно, в рассматриваемом примере

Результаты моделирования «несбалансированной» производственной линии с внутренним ограничением (2)

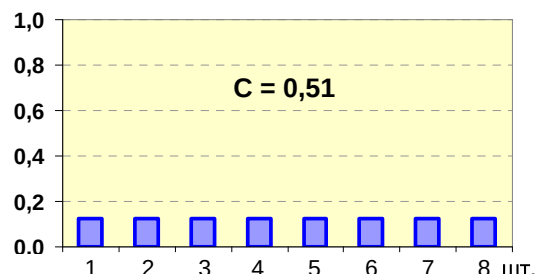
Модель входного потока и производительности ограничения

Вероятность



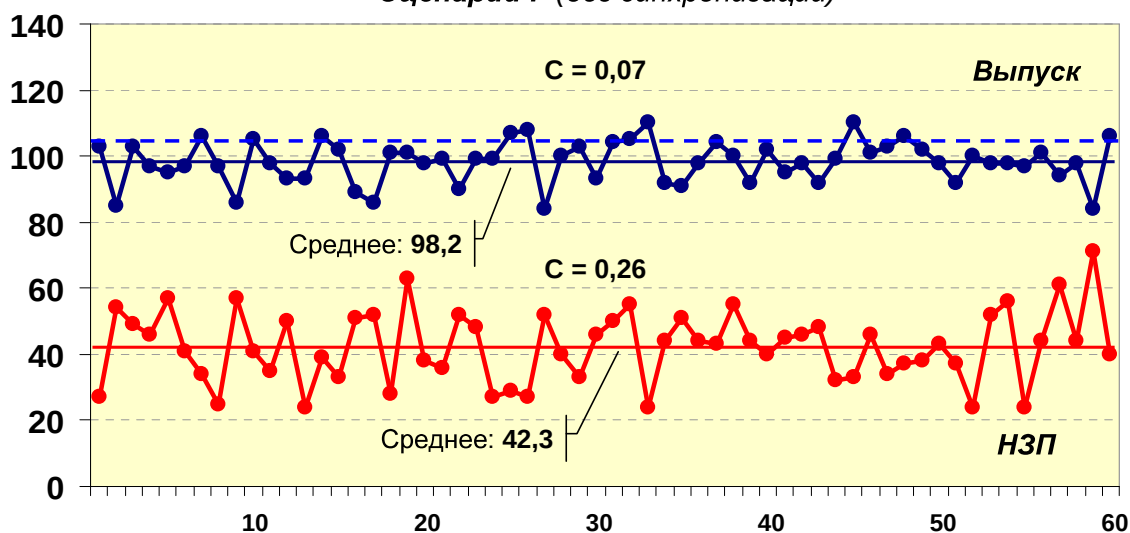
Модель производительности нелимитирующих ресурсов

Вероятность

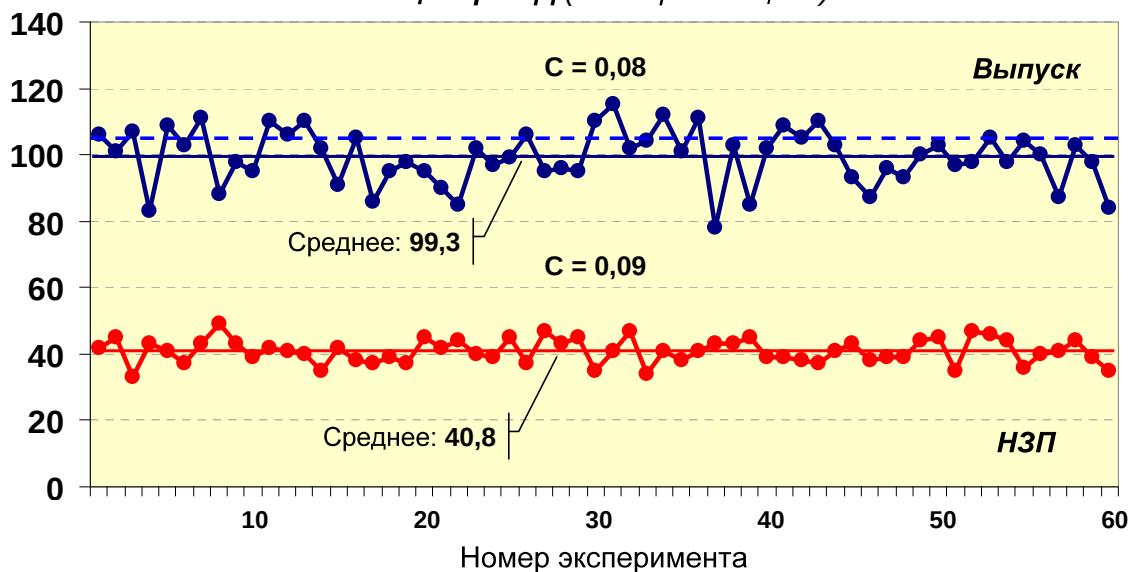


Объём выпуска и незавершённого производства (за месяц, шт.)

Сценарий Г (без синхронизации)



Сценарий Д (с синхронизацией)



средняя мощность каждого из нелимитирующих ресурсов (4,5) превышает среднюю мощность ограничения (3,5) примерно на 30%. Как и раньше, один сеанс моделирования имитирует поведение системы за условный месяц (30 рабочих дней); выполняется 60 независимых экспериментов, в каждом из которых подсчитывается общее число выпущенных изделий и НЗП (сумма размеров очередей перед рабочими центрами) в конце 30-го дня работы; пунктирной линией отмечен средний уровень входного потока 105 штук.

Для определения начального размера «буфера» применяется эмпирическое правило⁵, согласно которому суммарное операционное время обработки заготовки на этапах перед ограничением ($A \rightarrow B \rightarrow C$, 3 дня) утраивается, что при переводе в запасы означает: 9 дней $\times$ 3,5 шт. = 31,5 шт. На рабочий центр **A** в среднем поступает 3,5 заготовки в день, поэтому если – как и раньше – на начало первого дня держать перед **B** и **C** по 4 заготовки, то на ограничение **D** остаётся 20 единиц. Перед рабочими центрами **E** и **F** в начале каждого сеанса моделирования по-прежнему размещается по 4 заготовки, так что начальный уровень НЗП в системе составляет 36 единиц.

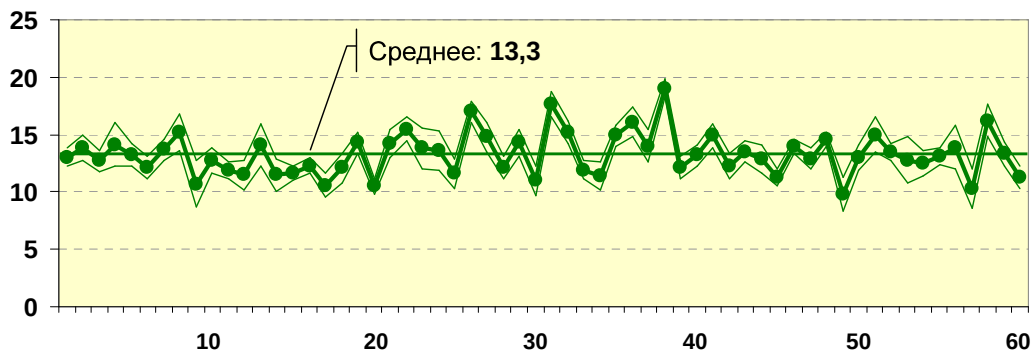
Как следует из результатов моделирования, среднемесячный объём выпуска вплотную приближается к желанной цифре 100 изделий (98,2 по сравнению с провальным значением 80,8 штук для сбалансированной линии), а размер НЗП остаётся почти без изменений (42,3 для сценария Г против 43,6 для исходного сценария). Ситуация с выпуском существенно улучшается, однако от месяца к месяцу продолжают сохраняться значительные колебания размеров НЗП, что, в свою очередь, приводит к большой неопределённости оценок времени производственного цикла и, соответственно, сильно затрудняет планирование отгрузок готовой продукции заказчикам.

С целью снижения уровня вариабельности незавершённого производства в системе предлагается применить механизм синхронизации запуска, который в методике DBR называется «верёвкой». Предположим, что каждый день наш поставщик станет подавать на вход рабочего центра **A** не случайное число заготовок (с равной вероятностью от 1 до 6), а ровно столько, сколько их за предыдущий день переработало ограничение (в данном случае, рабочий центр **D**, - тоже от 1 до 6 шт.). Тогда объём НЗП внутри цепочки $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ будет поддерживаться на постоянном уровне, а вся его вариабельность будет создаваться на этапах **D**, **E** и **F**. Результаты моделирования этой ситуации показаны на врезке 2 (сценарий Д; для определённости в первый день каждого эксперимента на вход системы поступает 4 заготовки). Видно, что средние значения показателей в сравнении с предыдущим сценарием как минимум не ухудшаются, но коэффициент вариабельности НЗП сокращается почти в 3 раза (с 0,26 до 0,09)! Как это влияет на общее время производственного цикла, наглядно демонстрируют два верхних графика на врезке 3¹⁵.

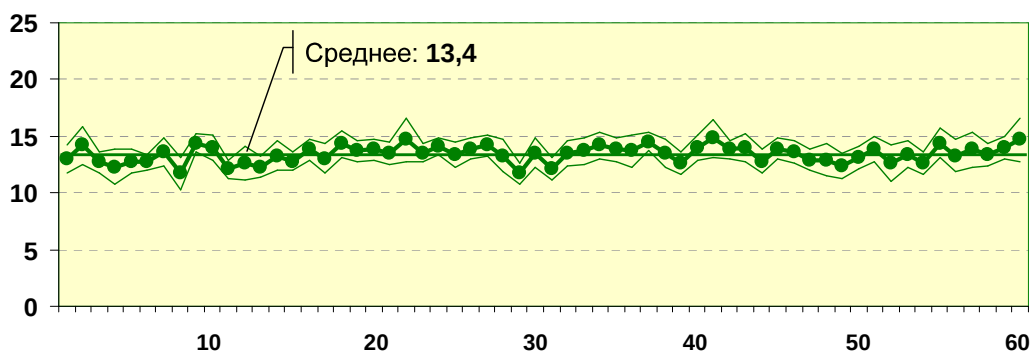
Результаты моделирования «несбалансированной» производственной линии с внутренним ограничением (3)

Время производственного цикла (дн.),
среднее $\pm$ с.к.о.

Сценарий Г (без синхронизации)

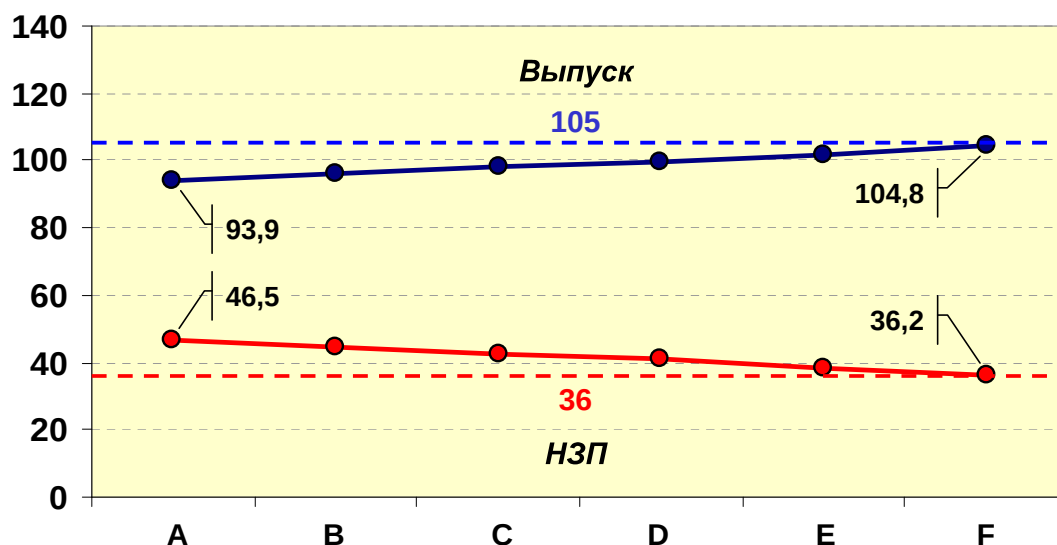


Сценарий Г (с синхронизацией)



Номер эксперимента

Средний выпуск и НЗП (шт.)
в зависимости от положения ограничения
в синхронизированной цепочке



Наконец, на нижней диаграмме врезки 3 приведена расчётная зависимость среднего выпуска и среднего размера незавершённого производства в системе с синхронизированным запуском от места фиксации лимитирующего ресурса в цепочке. Результаты моделирования свидетельствуют о том, что чем ближе к выходу потока находится внутреннее ограничение, тем эффективнее работа системы в целом, - выше её производительность и ниже уровень НЗП. Причём размер накопленного (по сравнению с исходным) НЗП стремится к нулю, а выпуск, соответственно, устойчиво растёт, превышая порог в 100 единиц для случая **Е** и почти достигая предельного значения 105 штук для случая **Б**.

ХОРОШИЕ НОВОСТИ

– Что это такое? – быстро просмотрев полученные материалы и не скрывая разочарования, спрашивает председатель. – Какие-то барабаны и верёвки. Не говоря уже о странном предложении почти на всём производстве держать избыточные ресурсы. Как это понимать? Мы с вами еле-еле наскребли деньги на закупку нового оборудования, а нам советуют не загружать его на полную мощность. Как же мы будем отбивать инвестиции?

– Лично я всё это понимаю следующим образом, – вступает в дискуссию «скептик». – Есть два варианта развития событий: либо на заводе продолжают совершенствовать сбалансированную линию и тогда в лучшем случае мы начнём получать от неё отдачу через несколько лет, либо они реорганизуют производство по схеме DBR и тогда выход на запланированные показатели доходности можно будет ожидать уже в текущем году.

– Но при втором варианте для обеспечения резервных мощностей заводу потребуются дополнительные ресурсы, – возражает председатель.

– Совсем не обязательно. Я почти на сто процентов уверен в том, что эти ресурсы уже есть в наличии, просто сегодня они не задействованы. Взять хотя бы ту историю с закупкой NCX-10. Давайте спросим представителей завода, - пусть напомнят, почему тогда вообще возникла эта тема.

– Что значит почему? – удивлённо поднимает глаза генеральный директор завода. – Нам поставили задачу выпускать не меньше сотни изделий в месяц. Мы тщательно проанализировали возможности имеющегося оборудования и выяснили, что главные трудности связаны с запускающим этапом, где на тот момент средняя производительность старого станка едва дотягивала до трёх единиц в день. А нужно было как минимум три с половиной.

– Совершенно верно, – продолжает развивать свою мысль оппонент, – но потом я читал ваш отчёт о вводе NCX-10 в эксплуатацию. Там написано, что станок может легко обрабатывать по четыре заготовки за смену, причём в идеальных условиях даже шесть. А если заглянуть в технический паспорт? Полагаю, что мы увидим там цифру не менее восьми. Правильно?

– Правильно, но только в том случае, если он все 8 часов будет работать без перерывов. Если операторы не болеют, ничего не ломается и забыть про профилактику. Вы же прекрасно понимаете, что мы не можем устанавливать такие нереальные нормативы.

– Понимаю, но ведь никто и не требует, чтобы станок эксплуатировался в форсированном режиме постоянно. Вам нужна средняя производительность всего четыре с половиной штуки. А «спринтерские» мощности имеет смысл включать только при возникновении непредвиденных обстоятельств.

– Подождите, ... с этого места, пожалуйста, поподробнее, – оживляются некоторые члены совета, до сих пор не принимавшие участия в обсуждении. – Вы хотите сказать, что потенциал заводского станочного парка используется не эффективно? Что у них много избыточных ресурсов?

– А как вы себе представляете балансирование мощностей? Предположим, в линейке всего два станка. Первый может за смену обработать 6 заготовок, а второй только 4. Тогда второй процесс вы объявляете «ритм задающим» и по нему рассчитываете так называемое «время такта» (в данном случае это 2 часа). А для первого процесса устанавливаете соответствующий норматив – те самые 2 часа на операцию, хотя фактически работу можно выполнять гораздо быстрее (за час и двадцать минут). Я излагаю достаточно подробно?

– Никогда не поверю, чтобы на Тойоте так нерационально относились к использованию своих ресурсов, – бросает реплику председатель.

– Конечно нет. Там для начала попытались бы устранить потери на втором станке, довели бы его производительность до 6 штук за смену и затем для всей цепочки установили бы время такта час двадцать. А у нас в аналогичной ситуации предпочитают выбивать деньги на новое оборудование.

– Вы что же, намекаете на то, что мы намеренно вводим акционеров в заблуждение? – отнеся последнее утверждение на свой счёт, раздражённо спрашивает генеральный директор завода.

– Я хочу сказать только то, что по моему мнению наш совет в своё время принял неверную установку, в соответствии с которой мы потребовали от своих предприятий обеспечивать максимальную загрузку оборудования. А организация сбалансированной производственной цепочки это лучший способ продемонстрировать отсутствие неиспользуемых мощностей. К сожалению, стремление к ложным ориентирам сыграло с нами злую шутку: мы получили свою «сбалансированную» линию, однако в условиях сильной вариабельности и зависимости процессов её фактическая пропускная способность оказалась гораздо ниже прогнозируемой.

– И теперь вы предлагаете отказаться от прежней политики максимальной эффективности использования ресурсов? – задаёт вопрос один из членов совета, представляющий миноритарных акционеров. – А что взамен?

– А что бы вы сами предпочли получить в качестве дивидендов: бумажку с выведенным на ней коэффициентом загрузки станка или реальные деньги? ...

Председатель объявляет перерыв в заседании, а после его завершения снова берёт слово:

– Друзья, мне кажется, что наш скептически настроенный коллега сильно драматизирует ситуацию. Тем более, как я говорил в самом начале встречи, есть и хорошие новости. Предлагаю послушать директора нашей фабрики, которая в прошедшем году показала лучшие за всю свою историю результаты. Насколько я понимаю, этого удалось добиться как раз благодаря повышению эффективности использования оборудования. Как вы все, вероятно, помните, раньше мы часто критиковали их за слабую отдачу, а проведенный год назад аудит выявил массовые случаи простоя станков, - иногда по полсмены и даже больше. При этом постоянно оплачивались переработки и сверхурочные, а уровень незавершённого производства превышал все разумные пределы. И вот, наконец, произошли серьёзные сдвиги в лучшую сторону. Без ложной скромности могу сказать, что и сам приложил к этому руку.

– Видите ли, – неожиданно пытается прервать его директор фабрики, – дело в том, что не всё так просто

– Конечно, было совсем непросто найти правильное решение, – увлечённо продолжает председатель. – И вот как-то раз совершенно случайно я попал на презентацию одной компьютерной программы, которая всего за несколько секунд составляла подробнейшие производственные расписания для десятков станков и сотен одновременно изготавливаемых изделий со сложнейшими технологическими маршрутами. Сильное впечатление произвела возможность формирования детальных сменно-суточных заданий, - на каждую операцию для каждого станка, причём на любом горизонте планирования, хоть на год. А главное - оптимизация по критерию максимальной загрузки оборудования.

– Вообще-то применение этой программы ... , – снова пытается что-то объяснить директор фабрики. Но председателя уже не остановить:

– Естественно, у нас всего четыре крупных передела и очень небольшая номенклатура выпускаемой продукции. Но, в отличие от завода, нет единой цепочки последовательной обработки, а для каждого изделия имеется свой особый технологический маршрут. Поэтому составление пооперационных графиков работы станков всегда было большой проблемой. Посоветовавшись с нашими специалистами, как раз год назад я рекомендовал эту программу для внедрения на фабрике. Мы подумали, что если она так хорошо справляется с сотней станков, то для наших-то четырёх будет все задачи щёлкать как орехи. А теперь давайте послушаем, как всё было на самом деле.

Директор фабрики наконец-то получает возможность высказаться:

– Видите ли, дело в том, что не всё так просто Вообще-то применение

этой программы Короче говоря, мне бы не хотелось расстраивать нашего уважаемого председателя, но если уж быть совсем откровенным, то поработав с этим чудом оптимизации пару месяцев в тестовом режиме, мы поняли, что если будем им пользоваться на практике, то очень скоро вылетим в трубу!

– Как же так?! – растерянно восклицает председатель. – Вы же сами мне на днях сообщали, что каждый месяц считаете расписания по программе.

– А мы их действительно считаем. Только не в начале месяца, а в конце, так сказать «постфактум», - чтобы лишний раз убедиться в том, что без этой штуковины у нас получается гораздо лучше.

– Вы хотите сказать, что лучше компьютера составляете сменно-суточные задания и при этом обеспечиваете более эффективное использование своего оборудования? Специалисты убеждали меня в том, что расчёт максимальной загрузки станков это сложнейшая математическая задача, решение которой требует применения специальных приёмов и алгоритмов.

– Вообще-то для работы нам не нужны детальные расписания, и мы не стремимся максимально загружать станки. А эффективность использования оборудования оцениваем по конечным результатам. И, судя по объявленным показателям фабрики за год, такой подход себя вполне оправдывает. ...

Чтобы заполнить возникшую паузу, во время которой присутствующие пытаются осмыслить услышанное, директор фабрики быстро добавляет:

– Я предполагал, что у членов совета будет много вопросов, поэтому подготовил подробный доклад. Сейчас я вам расскажу по порядку, как всё было на самом деле. А текст моего выступления раздам всем желающим.

УПРАВЛЕНИЕ УНИВЕРСАЛЬНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ (доклад директора фабрики)

Наше предприятие выпускает четыре типа изделий: **И1, И2, И3, И4**, - которые изготавливаются на четырёх рабочих центрах **А, В, С, D**. Маршруты обработки и операционные времена показаны на соответствующих диаграммах врезки 4. При этом выполняются следующие условия⁶:

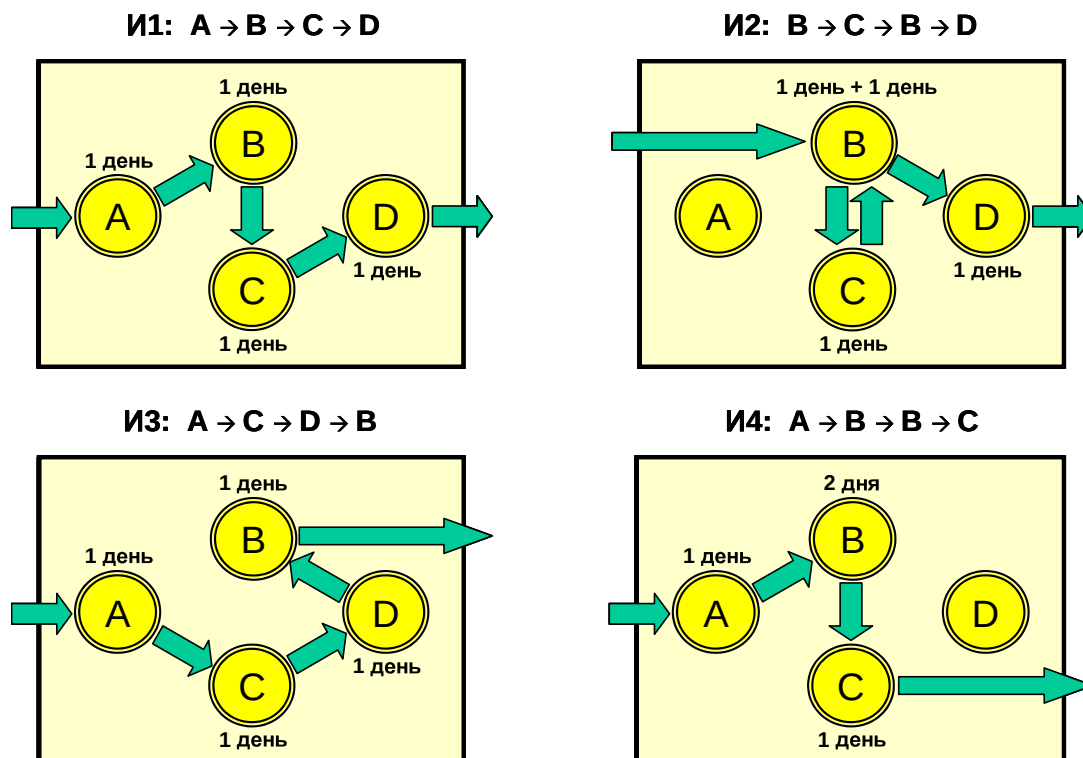
1. Все изделия производятся из одинаковых заготовок, с которыми проблем нет (поставщик держит у нас свой склад и оплата происходит по факту списания заготовок в производство).
2. Выполнение каждой из операций на любом станке занимает ровно 1 день (обратите внимание на изделие типа **И4**, для которого на рабочем центре **В** последовательно выполняются две разные операции).
3. Перед началом каждого рабочего дня на предприятие поступает ровно по одному заказу на изготовление некоторого конкретного изделия. Заказы

приходят в случайном порядке, хотя каждый из четырёх типов изделий обычно заказывается с равной вероятностью.

4. Операторы разных рабочих центров не взаимозаменяемы; производство работает в одну смену 5 дней в неделю (так что в среднем на один месяц приходится 21 рабочий день).
5. Заготовки приобретаются по 50 у.е. за штуку, а за каждое готовое изделие заказчики платят в среднем по 100 у.е. Общие накладные расходы по всему предприятию составляют примерно 550 у.е. в месяц, включая тарифную заработную плату всех работников. Соответственно, точка безубыточности имеет значение ровно 11 изделий в месяц.

Что касается отклонений от операционных нормативов на отдельных этапах процесса, то вариабельности здесь такова, что сегодня мы с очень высокой вероятностью укладываемся в один рабочий день на операцию. Раньше было хуже, но год назад мы ввели новую систему мотивации персонала и теперь при управлении производством исходим из приведенных выше верхних границ. Поэтому основная неопределённость связана с поступлением заказов; никогда заранее не известно, какое конкретное изделие закажут завтра.

Схема моделирования производственной системы (4)



Чтобы разобраться с ситуацией, мы попытались смоделировать работу нашей производственной системы в рамках ряда сценариев, по каждому из которых имитировалось несколько вариантов поступления заказов. Ниже приводятся данные для одной такой типичной последовательности из 24 заказов (указаны типы изделий): **2 4 4 1 2 4 3 3 1 2 3 3 2 4 1 2 3 2 1 4 1 4 1 3**. Считается, что перед началом каждого сеанса моделирования система пуста, поэтому анализ эффективности производства выполняется за период с 4-го дня эксперимента (когда теоретически может быть выпущено первое изделие) по 24-й день (когда к нам приходит последний заказ); всего 21 рабочий день или полный условный месяц.

СЦЕНАРИЙ А: как мы работали раньше

Заказы запускались в производство без задержек «день в день» по мере их поступления и обрабатывались рабочими центрами в режиме ERD (Earliest-Release-Date, то есть при наличии очереди первым обслуживался заказ с самой ранней датой запуска).

На врезке 5 приведены результаты моделирования системы при указанных условиях. Верхняя картинка (аналог диаграммы Ганта) показывает график загрузки станков, - так сказать, детальное производственное расписание, построенное «задним числом» по данным фактического прохождения заказов. Цветовая гамма соответствует изделиям разных типов: жёлтый цвет - **И1**, голубой - **И2**, зелёный - **И3**, оранжевый - **И4**. Цифры внутри ячеек обозначают номера заказов от 1 до 24. Как видно из диаграммы, за условный месяц было полностью завершено 14 заказов. При этом коэффициент загрузки станков составил около 74% (в общей сложности рабочие центры не были заняты 22 дня из $21 \times 4 = 84$ дней).

Ещё год назад мы полагали, что чем выше уровень загрузки оборудования, тем более эффективно работает предприятие в целом. Собственно, на это нас всегда и нацеливал совет директоров. Поэтому, как только поступал новый заказ, мы старались отдать его в производство в тот же день. Тем более что для трёх из четырёх типов изделий запускающим является рабочий центр **А**, а он часто оказывался недогружен. Кроме того, мы исходили из казавшегося очевидным предположения о том, что чем раньше сделать запуск, тем больше шансов выпустить готовое изделие в срок.

К сожалению, на практике выходило не так гладко. Странно, но фактическое время производственного цикла в течение месяца колебалось в очень широких пределах, примерно от 5 до 15 рабочих дней (см. средний график на врезке 5), причём от начала месяца к его концу всегда наблюдался устойчивый эффект удлинения циклов. И это при том, что общее операционное время обработки

Производственное расписание

Число выполненных заказов: 14 шт.

Среднее: 6,8

Рабочий день месяца	Отработка (дней)
1	3,0
2	4,0
3	4,0
4	5,0
5	5,0
6	6,0
7	6,0
8	7,0
9	7,0
10	6,0
11	7,0
12	7,0
13	7,0
14	7,0
15	8,0
16	7,0
17	8,0
18	9,0
19	10,0
20	10,0
21	10,0

для любого из изделий составляло всего 4 дня. Такое нестабильное поведение системы сильно осложняло отношения с заказчиками, которые требовали за 2-3 дня информировать их о датах готовности заказов.

Но и это ещё не самое плохое. Гораздо хуже было с экономикой предприятия. Дело в том, что при текущей структуре заказов и существующей технологии производства для изготовления одного изделия нужно обрабатывать заготовку в среднем по три четверти дня на рабочих центрах **A** и **D**, один день на рабочем центре **C** и полтора дня на рабочем центре **B**. Поэтому даже в том случае, когда **B** загружен на все 100 процентов, в среднем за месяц можно выпускать (21 день / 1,5 дня =) 14 изделий. А мы их и так выпускали, то есть по производительности работали на максимуме своих возможностей.

При этом, - исходя из нашей базовой экономической модели, в соответствии с которой точка безубыточности составляет 11 штук, - мы, казалось бы, должны были ежемесячно в среднем получать прибыль в размере 50 у.е. x 3 шт. = 150 у.е. Однако всю картину портило незавершённое производство, размеры которого к концу месяца обычно значительно превышали соответствующие показатели начала месяца (см. нижний график на врезке 5). Так что если принимать во внимание «эффективную» точку безубыточности, то фабрика по существу скорее работала себе в убыток.⁷

Поэтому поначалу мы очень обрадовались предложению воспользоваться новой программой оперативного управления производством. Мы связались с её разработчиками и попросили их просчитать несколько тестовых примеров. Причём для начала поставили перед ними более простую задачу, в которой вообще не было никакой неопределённости с заказами. Надо сказать, что полученные результаты нас просто обескуражили. Судите сами!

СЦЕНАРИЙ Б: применение компьютерной оптимизации

На верхней диаграмме врезки 6 представлено производственное расписание, рассчитанное оптимизационной программой для тех же исходных данных, что и в сценарии А, но при условии заранее точно известной последовательности поступления заказов⁸.

Из диаграммы следует, что в результате оптимизации коэффициент загрузки станков удалось повысить, хотя и незначительно (с 74% до 75%). Однако если работать по предложенному «оптимальному» плану, то за месяц можно будет выпустить не 14, а всего лишь 10 изделий (то есть даже меньше базовой точки безубыточности). При этом будут выполнены заказы 14 и 20, но не завершены поступившие раньше них заказы 8, 10, 11 12 и 13. И вообще, - как видно из среднего графика на врезке 6, - показатель времени производственного цикла

Производственное расписание

Число выполненных заказов: 10 шт.

Среднее: 12,6

Номер заказа	Количество заказов
1	13
2	4
3	5
4	8
5	12
6	4
7	11
8	20
9	11
10	20
11	19
12	21
13	20
14	4
15	19
16	18
17	19
18	19
19	18
20	4
21	8
22	5
23	7
24	14

Среднее: 8,4

Рабочий день месяца	Отработка (дней)
1	4,0
2	3,0
3	4,0
4	4,0
5	5,0
6	5,0
7	6,0
8	7,0
9	8,0
10	8,0
11	9,0
12	10,0
13	10,0
14	9,0
15	10,0
16	11,0
17	12,0
18	12,0
19	13,0
20	13,0
21	14,0

от заказа к заказу ведёт себя нестабильно и совершенно непредсказуемо. А уровень незавершённого производства в течение месяца (см. нижний график на врезке б) растёт даже более высокими темпами, чем при работе по исходному сценарию А.

Получается, что в нашем случае решение упрощённой задачи с применением оптимизационных алгоритмов давало результаты хуже тех, которые мы имели раньше без специальных компьютерных расчётов и для более сложной задачи с неопределённостью на входе. Мы не нашли ни одного серьёзного аргумента в пользу внедрения этой программы на практике.

Надо было искать какой-то другой выход, и мы принялись более детально анализировать производственный процесс с целью улучшить старый алгоритм работы, описанный в сценарии А. В частности, мы обратили внимание на то, что самые большие очереди обычно выстраиваются перед рабочим центром **В**. Это было понятно, поскольку при текущей структуре заказов и существующей технологии он является самым востребованным ресурсом, и для обеспечения максимального выхода всей системы должен быть загружен на сто процентов. Поэтому нельзя допустить возникновения ситуации, при которой в начале очередного дня ему окажется нечего делать. Значит, определённая страховка от случайности обязательно должна быть. Но нужна ли такая большая очередь непосредственно перед самым рабочим центром **В**? Ведь пока он занимается обслуживанием некоторого заказа, «на подходе» могут находиться другие задания, которым вскоре может потребоваться этот ресурс. Например, если запустить в производство изделие 1-го или 4-го типа, то уже завтра оно встанет в очередь перед **В**. А для изделия 2-го типа – уже сегодня. Так что в этих случаях страховка не нужна. Сложнее с изделиями 3-го типа; они будут добираться до **В** не меньше трёх дней. С другой стороны, если в обработке находится изделие 4-го типа (которому ресурс **В** необходим два дня подряд), то размер страховки может быть меньше. В общем, на первый взгляд, всё казалось сильно запутано.

СЦЕНАРИЙ В: как мы работаем сейчас

И тут возникла идея! А что, если перед началом каждого рабочего дня считать общее время, которое потребуется ресурсу **В** для обслуживания тех заказов, которые уже находятся в производстве? И если имеющихся в системе заказов достаточно для его загрузки, скажем, на 5 или больше дней, то запуск новых заказов временно приостанавливать? То есть применить специальный способ диспетчирования, основанный на анализе «буфера времени». А всё остальное оставить без изменений: заказы запускать в производство строго в порядке их поступления, не более одного в день, а при наличии очередей всем станкам по-прежнему работать в режиме ERD.

Производственное расписание



Рабочий день месяца	Среднее количество несчастных случаев
1	3,0
2	4,0
3	3,0
4	4,0
5	3,0
6	4,0
7	4,0
8	5,0
9	5,0
10	3,0
11	4,0
12	4,0
13	4,0
14	4,0
15	5,0
16	3,0
17	4,0
18	3,0
19	3,0
20	4,0
21	4,0

Результаты моделирования данного сценария (см. врезку 7) превзошли все наши ожидания, хотя и порядком удивили. Как и раньше, производительность системы соответствовала теоретическому максимуму (14 штук в месяц), но при этом общая загрузка оборудования сократилась с 74% до 64%. Однако, как видно из среднего и нижнего графиков врезки 7, поведение системы стало устойчивым и, соответственно, предсказуемым. Теперь сразу после запуска любого заказа можно с высокой достоверностью утверждать, что он почти наверняка будет выполнен в течение восьми дней. И, кроме того, за счёт стабилизации уровня незавершённого производства наконец-то удалось выйти на плановые показатели доходности. Вот, собственно, и вся история!

ЕСТЬ ЛИ ПОЛЬЗА ОТ ДЕТАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ?

Обсуждение решили провести после небольшого перерыва. Когда все снова собираются, председатель первым начинает дискуссию:

– Ну что, коллеги, предъявленные нам сегодня результаты действительно впечатляют. Но всё же хотелось бы уточнить некоторые не очень понятные моменты. Прежде всего, это спорное, на мой взгляд, заявление докладчика о том, что детальные производственные расписания не нужны. А как же тогда планировать работу станков? Ведь по мнению известных специалистов это очень сложная комбинаторная задача и без составления расписаний тут не обойтись.

– Простите, а зачем нам заранее планировать работу станков? – отвечает вопросом на вопрос директор фабрики.

– Что значит «зачем»? Странно это слышать! А как же работать без плана? Как эффективно управлять загрузкой оборудования? Как прогнозировать сроки выполнения заказов? Как, в конце концов, устанавливать очерёдность обработки заданий отдельными рабочими центрами?

– Иными словами, план нужен для того, чтобы по нему работать. Я вас правильно понял?

– Правильно. А что здесь неясного? – раздражённо бросает председатель.

– Я всего лишь хотел уточнить вашу позицию, – извиняющимся голосом произносит директор фабрики. – Если я правильно понял, вы полагаете, что за день, за неделю или даже за месяц до начала выполнения работ можно точно рассчитать детальный график загрузки всех станков, который потом будет соблюдаться? Иными словами, можно составить такое расписание, реальность выполнения которого в момент его составления представляется достаточно высокой? Так?

– Да, так. Только я пока не улавливаю, к чему вы клоните.

– А какую вероятность выполнения подобного плана вы бы посчитали

вполне приемлемой? – задаёт очередной вопрос директор.

– Так вот вы о чём? – разочарованно вздыхает председатель. – Опять об отклонениях? Естественно, стопроцентную гарантию даёт только страховой полис. Если вас интересует именно это, то, поверьте, я прекрасно понимаю, что в условиях реального производства всякое случается. Поэтому меня бы вполне устроили 80-85 процентов.

– А что, если бы при составлении плана вам сказали, что вероятность его выполнения заведомо меньше 50 процентов?

– Ну какой же смысл составлять план, который скорее всего не будет выполнен? Вы это хотели услышать? Теперь вы удовлетворены? – ехидно усмехается председатель.

– Абсолютно. Оказывается, наши позиции полностью совпадают. Я тоже уверен в бессмысленности разработки планов, невозможность реализации которых очевидна уже в момент их составления.

– Это вы о чём? И какое это имеет отношение к нашему обсуждению?

– Самое прямое. Дело в том, что детальные производственные расписания представляют собой типичный пример как раз таких планов. И все усилия по их составлению это просто «мартышкин труд».

Присутствующие зашумели, однако председателю быстро удаётся взять ситуацию под контроль:

– Ничего не скажешь, очень смелое заявление. Надеюсь, его автор сможет убедительно обосновать свою позицию. В противном случае ... даже не знаю, как нам дальше поступать.

Директор фабрики не выглядит растерянным. Наоборот, чувствуется, что он давно ждал этого разговора и основательно к нему подготовился:

– Чтобы не быть голословным, я могу привести конкретные примеры с нашего производства. Однако сначала давайте договоримся о понятиях. Итак, как мы обычно строим производственные расписания? Точнее, какие данные необходимы для их составления?

Не дожидаясь ответа со стороны присутствующих, он продолжает:

– В самом общем случае требуются технологические маршруты движения потоков (то есть последовательность операций в привязке к конкретному оборудованию) и нормативы времени выполнения отдельных операций. Это хорошо известно. Предположим, что с первой составляющей проблем нет и все маршруты точно определены. А как насчёт нормативов времени? Знают ли уважаемые коллеги, откуда берутся соответствующие цифры?

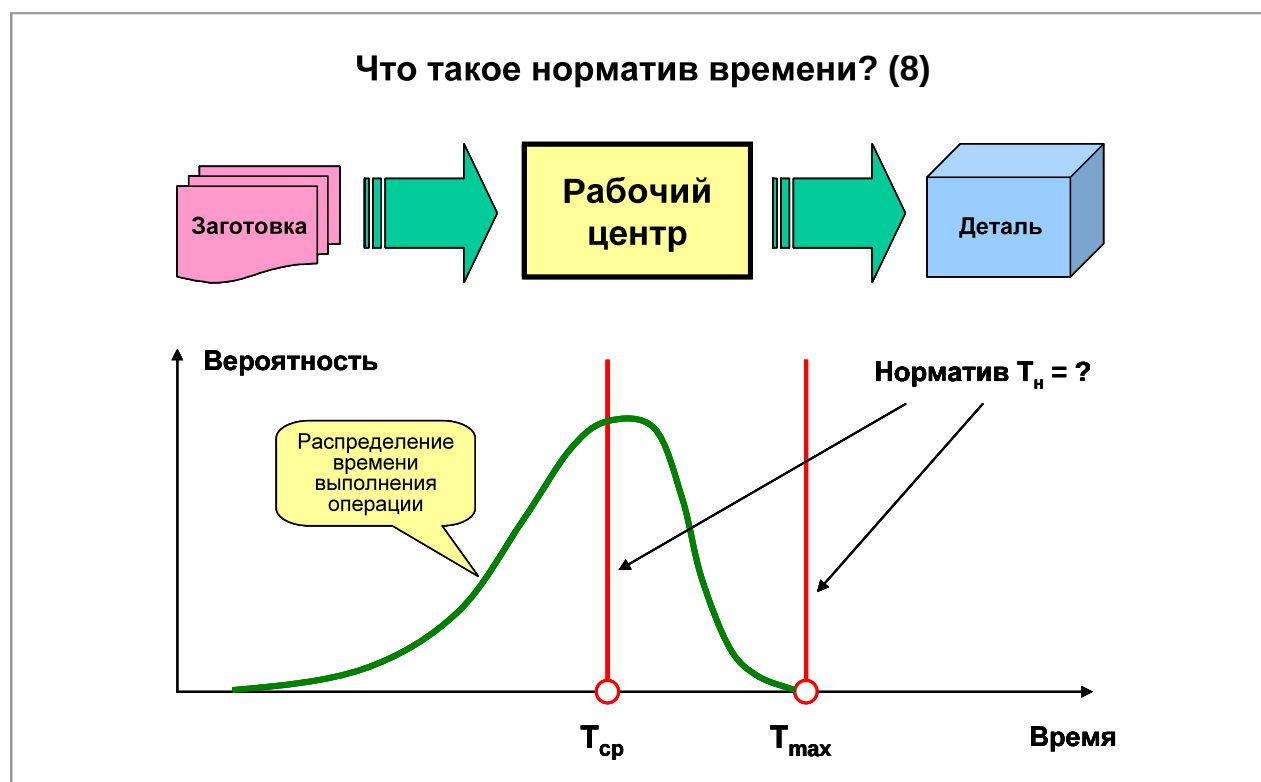
– Мне кажется, не стоит тратить время на ликбез! – недовольно заявляет один из членов совета, когда-то работавший главным технологом завода.

– И всё же, – настойчиво гнёт свою линию директор фабрики, – мне бы хотелось, чтобы ни у кого не было на этот счёт никаких иллюзий. Ответы типа того, что нужные цифры предоставляет бюро технического нормирования, не принимаются. Вопрос, – откуда они их берут? ... А берут их обычно из разных источников. Когда производство массовое и одна и та же деталь постоянно обрабатывается на одном и том же рабочем центре, то можно провести серию измерений и по их результатам зафиксировать некоторое значение. Скажем, сделать 100 замеров, и если в каждом получилось ровно 87 минут, то данную цифру разумно будет принять в качестве соответствующего операционного норматива. Однако, как вы понимаете, в реальной жизни так никогда не бывает! Хорошо известно, что даже один и тот же работник на одном и том же станке в разные дни и в зависимости от разных обстоятельств на одну и ту же операцию тратит разное время. То есть на самом деле в результате замеров получается некоторое распределение.

Выступающий подходит к доске и рисует на ней кривую (см. врезку 8). Затем продолжает:

– Предположим, получилось от 75 до 98 минут со средним 87. Что принять за норматив? Среднее значение? Или максимальное? Или что-то посередине? На каждом предприятии поступают по-своему.

– Заметьте, что здесь достаточно большая выборка и все характеристики распределения можно оценить с высокой точностью. А если производство мелкосерийное и через рабочий центр в течение дня проходит несколько



партий разных изделий? Переналадки, изучение документации и т.д. и т.п. ... Очевидно, точность оценок падает. А если производство единичное и раньше вы это изделие вообще никогда не выпускали? В таких случаях, как известно, нормативы часто задаются «по аналогии» или, если называть вещи своими именами, берутся «с потолка». Причём обычно речь идёт только о нормативах «чистой» обработки на станках. А время передачи на следующий этап? Кто считал его? Ведь для планирования многопередельного производства важно знать, когда задание будет доступно для обслуживания на следующем этапе.

– Это к вопросу о том, какой «мусор» обычно подаётся на вход алгоритмов расчёта производственных расписаний, – всё более уверенно продолжает директор фабрики. – А ведь специалистам отлично известно, что решения соответствующих оптимизационных задач структурно неустойчивы, то есть очень чувствительны к исходным данным, и даже при незначительных их изменениях полученные результаты могут существенно отличаться друг от друга. Чего же тогда ждать в ситуации, когда точность входной информации заведомо составляет «три трамвайных остановки».

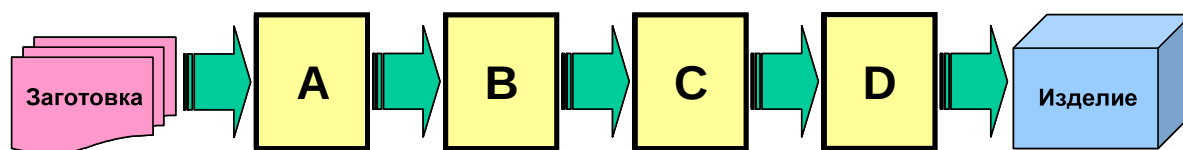
– Очень интересно и, возможно, даже в чём-то справедливо, – замечает бывший технолог. – Однако если принять достаточно консервативные оценки, то всё должно работать.

Выступающий как будто только этого и ждал:

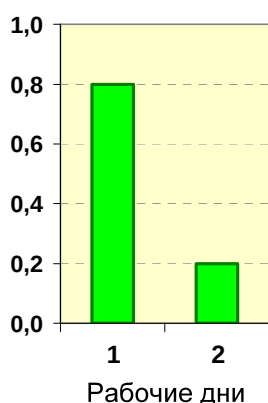
– Отлично, а теперь давайте смотреть, как это может работать на примере нашего производства. Вы знаете, что ещё пару лет назад фабрика выпускала только одно изделие **И1** с простейшим технологическим циклом: **A→B→C→D**. Были приняты нормативы - 1 день на передел, поэтому график прохождения заказов через систему выглядел просто: 1 день на **A**, 1 день на **B**, 1 день на **C** и один день на **D** (всего 4 рабочих дня на изделие, 21 изделие за месяц). Но по факту очень часто выходило 6-8 дней, а иногда даже больше. Когда начали разбираться, то выяснилось, что норматив соответствовал 80-процентной доле вероятности, а в оставшихся 20 процентах случаев операции на переделах занимали не один, а целых два рабочих дня. Ранее уже говорилось о решении сложных комбинаторных задач при составлении детальных расписаний. Я в этом деле не очень-то силён, но кое-какие формулы из институтского курса теории вероятностей ещё не забыл. Быстро прикинул, и вот что у меня получилось (см. врезку 9).

– Если в системе ничего нет и запустить один-единственный заказ, то при заданном распределении времени выполнения операций на каждом переделе (80-20) вероятность завершения всего заказа за 4 дня (то есть по графику) составляет приблизительно 0,41. Иными словами, даже в самом идеальном и благоприятном случае она меньше 50%. А вот если начать подавать на вход непрерывный поток заказов (по одному в день в соответствии с графиком) то поведение системы изменяется кардинальным образом. Здесь готовых формул

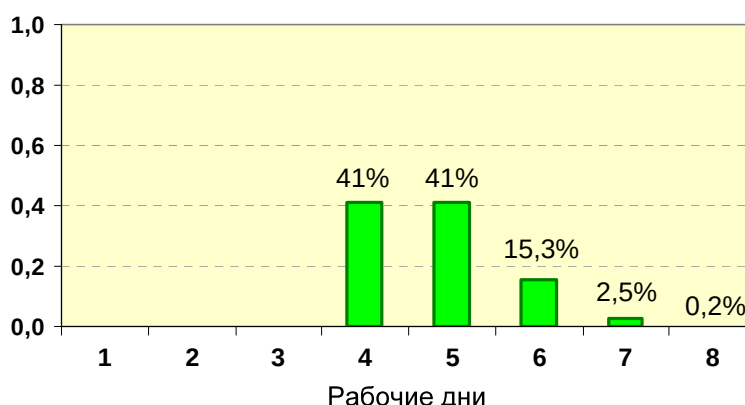
Пример реализации детального производственного графика (9)



Распределение времени выполнения операции



Распределение времени изготовления для одного изделия



Распределение времени изготовления изделий в потоке (по результатам моделирования, шт. за месяц)



нет, поэтому приходится применять имитационное моделирование. Типичный результат таких компьютерных расчётов представлен на нижнем графике врезки 9⁹. Как видно, ни один из запущенных в течение месяца заказов фактически не обрабатывался в системе меньше 6 дней, а основная их часть находилась в производстве по 7-9 дней. При этом общая производительность всей системы обычно составляла 15-16 изделий в месяц, а никак не 21. Вот и возникает, с моей точки зрения, законный вопрос: а зачем вообще заранее планировать работу станков? Ведь составленные детальные планы в условиях реальной вариабельности и зависимости процессов никогда не выполняются! Надеюсь, что сумел достаточно убедительно обосновать свою позицию.

ЕЩЁ О НОРМАТИВАХ И ПЛАНИРОВАНИИ ПО СИСТЕМЕ «GARBAGE IN – GARBAGE OUT»¹⁰

Заседание совета директоров шло уже несколько часов, однако договорились не расходиться, пока не будет полной ясности по главной проблеме. Поэтому после небольшого перерыва обсуждение продолжается. Как всегда, основное направление очередному раунду дискуссии задаёт председатель:

– Ну что же, мы заслушали интригующий доклад директора фабрики. Его главный тезис состоит в том, что составление детальных производственных расписаний это бесперспективное занятие и, более того, от их применения один только вред. Есть ли другие мнения?

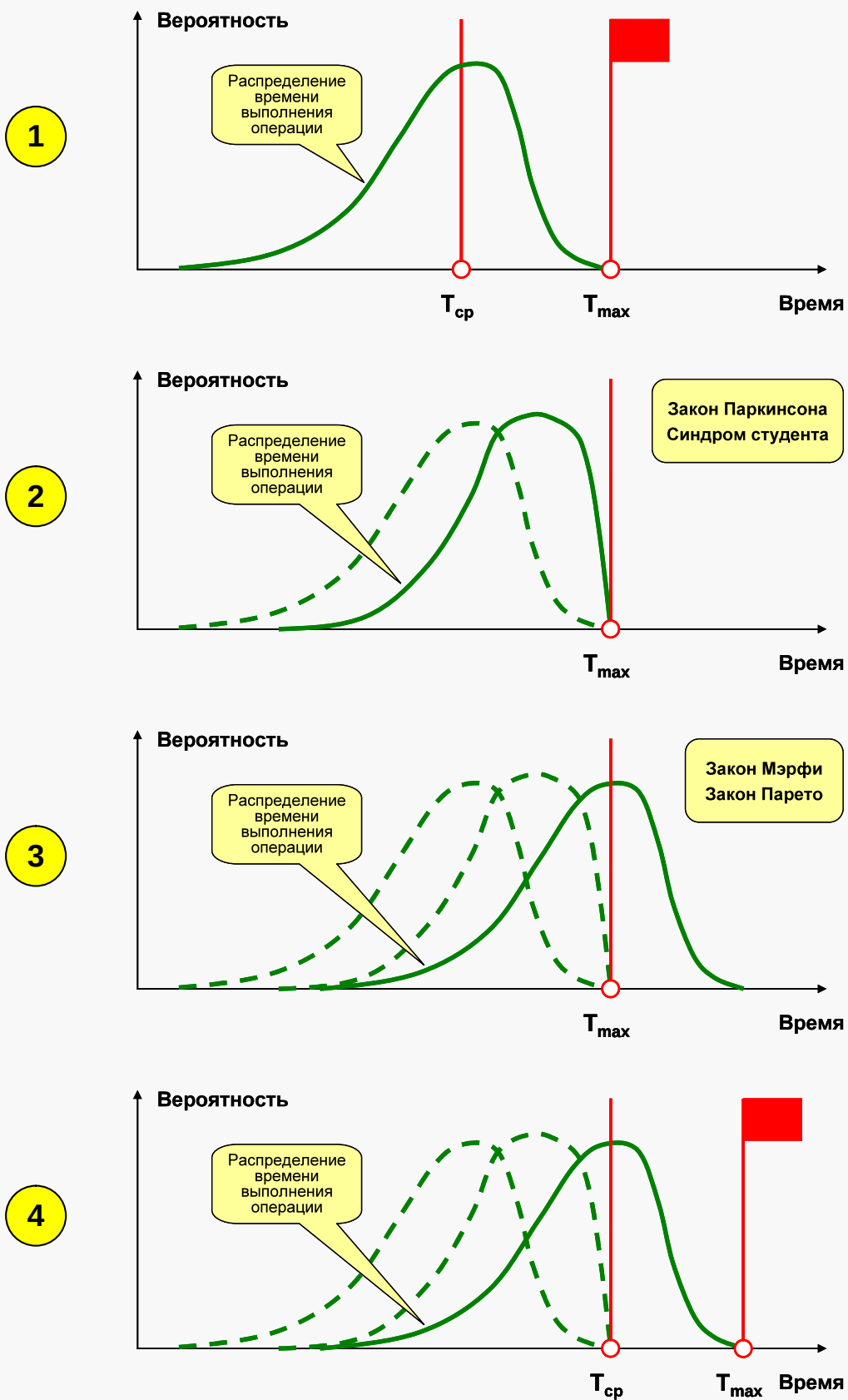
– Позвольте для начала задать несколько вопросов, – просит слово бывший технолог. – Во-первых, утверждение о невозможности реализации детальных планов было основано на предположении о том, что в качестве нормативов задаются средние величины или близкие к ним характеристики распределения времени выполнения операций. А если использовать максимальные значения? Помнится, в своё время мы именно так обычно и поступали.

– Хороший вопрос, – замечает автор обсуждаемого тезиса. – Для ответа на него мне бы хотелось, чтобы мы определились, что для нас важно: работа по заранее составленному плану или повышение отдачи от предприятия в целом? Если первое, то вполне реально просчитать такой детальный график загрузки оборудования, в соответствии с которым можно будет работать. Например, если в описанном выше случае в качестве норматива принять не 1 день, а 2 дня на операцию (то есть максимальное значение), то планы действительно *какое-то время* будут успешно выполняться. Проблема в том, что тогда по плану мы будем выпускать всего 10-11 изделий в месяц. А без плана - как вы видели - можем сделать в полтора раза больше!

– Что значит «какое-то время»? – бросает реплику председатель. – Уж не хотите ли вы сказать, что можно себе представить ситуацию, при которой не будет выполняться даже такой консервативный план?

– Вы знаете, на днях я встречался со своим коллегой, директором одного из предприятий - наших поставщиков. Он мне рассказал интересную историю. Некоторое время назад они сравнили текущие показатели производства с тем, что у них было десять лет назад. В результате выяснилась удивительная картина. Оказалось, что раньше их предприятие работало лучше. Конечно, сейчас там больше численность, много нового оборудования и выше объёмы. Но вот выпуск готовой продукции в натуральном выражении в расчёте на одного работника сегодня меньше, чем был тогда. Они проанализировали ситуацию и обнаружили парадоксальную вещь: несмотря на многочисленные мероприятия по совершенствованию производства операционные нормативы за этот же период в среднем заметно выросли.

Динамика трансформации операционных нормативов (10)



– Как же они могли такое допустить? – встревает в разговор генеральный директор завода. – У нас, например, пересмотр нормативов проводится раз в год в плановом порядке, причём обязательно в сторону их сокращения.

– Вот и они долго не понимали, что происходит. А потом оказалось, что в промежутках между плановыми кампаниями по сокращению трудоёмкости действует обратный процесс, когда то там то здесь возникает необходимость «в виде исключения» нормативы увеличивать, – как правило, по различным временным схемам. Причём всегда находятся очень веские причины: завезли другой материал, изменились условия обработки и прочие «объективные» обстоятельства. В общем, сами знаете, как это бывает. И всем нам хорошо известно, что нет ничего более постоянного, чем временное. Поэтому в целом события развиваются циклически – по сценарию «шаг вперёд, два шага назад». Сейчас я вам покажу картинку, которую они мне подарили (см. врезку 10), где качественно описывается один из таких типичных циклов.

– График номер 1 (исходную ситуацию) я уже приводил при обсуждении вопроса, откуда появляются нормативы. Тогда за T_n для расчётов принималось значение меньше максимального (80-процентная квантиль распределения). А что будет, если в качестве норматива задать T_{max} ? Фактически это означает, что работники всегда могут выполнить операцию быстрее. Но когда они знают о наличии у них «запаса прочности», то тут же начинает действовать «закон Паркинсона» (любая работа занимает всё отведённое на неё время) и включается так называемый «синдром студента» (основная часть всех работ завершается непосредственно перед установленными сроками их сдачи). Это универсальные законы человеческого поведения. В результате вид кривой распределения меняется, и она приобретает форму, показанную на графике номер 2. Дальше совсем просто. Некоторое время, – пока значение T_{max} воспринимается как определённый психологический барьер, – всеми правдами и неправдами его удаётся не превышать. Однако рано или поздно всё равно наступают непредвиденные события (ломаются станки, изменяются режимы обработки или что-нибудь ещё). То есть проявляется «закон Мэрфи» (если какая-нибудь неприятность может случиться, то она непременно произойдёт), причём по «закону Парето» такие маленькие неприятности обычно приводят к серьёзным последствиям в виде срыва сроков сдачи самых важных заказов. Постепенно «пробой» границы T_{max} становится привычным делом и кривая распределения времени выполнения операций уверенно «переползает» через этот барьер, что отражено на графике номер 3. Наконец, остаётся сделать последний шаг – привести норматив в соответствие с новым фактическим распределением, что и показано на графике номер 4. Всё, цикл замкнулся. Добро пожаловать на новый круг.

Несколько участников заседания поднимают руки, желая высказаться. Но председатель, пользуясь правом ведущего, первым реагирует на очередную порцию прозвучавших «нестандартных» рассуждений:

– Мне кажется, наш коллега всё-таки слишком сгущает краски. Конечно, теоретически такое может происходить, но практически существует целый штат нормировщиков и контролёров, призванных следить за соблюдением установленных правил и регламентов. Насколько я понимаю, их задача как раз и состоит в том, чтобы не допустить необоснованного завышения нормативов. Выходит, что они не справляются со своей работой?

– Как раз наоборот, – спокойно отвечает директор фабрики, – прекрасно справляются. Например, у нас на производстве любое увеличение норм всегда было обосновано так, что комар носа не подточит.

– В таком случае, возможно, вы их слабо стимулировали?

– Если вы имеете в виду премии за сокращение трудоёмкости, то они их тоже регулярно получали.

– Но ведь первое противоречит второму, – недоумевает председатель. – С одной стороны, премии за уменьшение нормативов, а с другой – фактический рост этих же самых нормативов?

– Да, противоречие здесь есть, но нет конфликта. Стороны уже давно его разрешили к обоюдной выгоде. Видите ли, если вы платите рабочим по нормативам, то как они будут себя вести? Понятно как! Будут заинтересованы в том, чтобы эти нормативы были как можно менее напряжёнными. И если по нормативам работу можно делать два часа, то зачем сдавать её через час? А там, глядишь, чего-нибудь сломается, работа вообще встанет и можно будет рассчитывать на сверхурочные с оплатой по повышенным ставкам. Если же делать за час, то скоро узнает начальство и срежет расценки. Вы говорите, контролёры и нормировщики Но ведь они тоже не с Луны свалились, а с теми же рабочими живут в одном доме и на соседних огородах картошку выращивают. И что для них важнее, – какие-то цифры на бумажке или хорошие отношения с соседями? Вот и получается, что сначала нормативы «громко» срезают, а потом «тихо» увеличивают. В результате довольны все.

– Постойте, но вы же сами в докладе заявляли, что сумели сократить сроки выполнения работ на всех переделах до одного дня. А раньше в 20 процентах случаев доходило до двух. То есть кривая распределения времени выполнения операций у вас сместилась в противоположную сторону. Как вам это удалось?

– Элементарно. Помните, я говорил про новую систему мотивации. Если совсем коротко, то мы вообще отменили работу по нормативам. Точнее, перестали таким образом оценивать работников, а перешли на оплату труда по конечному результату. Теперь рабочим нет смысла оттягивать завершение заданий, и чем быстрее они их сделали и передали на следующий этап, тем им лучше. При этом, если по каким-то причинам всё же не укладываются за смену, то сами остаются и не требуют оформления сверхурочных. Готов как-нибудь рассказать более подробно¹¹.

– Всё это, конечно, очень интересно, – не сдаётся бывший технолог, – но давайте вернёмся к нашим «баранам». Я имею в виду производственные расписания. Согласен, что за месяц вперёд трудно предугадать, что и когда пойдёт не так. Но ведь при отклонении всегда можно пересчитать график с учётом текущего состояния дел и получить скорректированный план?

– Для чего? Чтобы через два часа узнать, что и он тоже не выполняется? Вместо того чтобы делать бессмысленную работу раз в месяц, вы предлагаете заниматься этим по несколько раз в день? Если у вас фабрика по составлению расписаний, то можете себе это позволить. А у меня фабрика по изготовлению другой полезной продукции.

– Но я лично знаю предприятия, которые реально работают по детальным графикам и заранее составленным сменно-суточным заданиям!

– Если так, то с моей точки зрения, которая подтверждается результатами проведенных исследований, это означает только одно. Что при планировании там используются завышенные нормативы, а на самом деле в производстве есть много неиспользуемых ресурсов.

– Вы что же, вообще выступаете против планирования? А как же тогда управлять производством?

– Я не против планирования. Я против планирования ради планирования. Более того, считаю, что в каких-то ситуациях даже составление детальных расписаний может быть оправдано. Скажем, в случае полного бардака на предприятии. Но если рациональным способом выстроить материальные и информационные потоки, да добавить к ним нормальную систему мотивации работников, то можно без этого обойтись. А вот как в таком случае управлять производством – это отдельный разговор.

КАК УПРАВЛЯТЬ МНОГОПЕРЕДЕЛЬНЫМ ДИСКРЕТНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ?

– Ну вот, не прошло и суток, как мы наконец-то добрались до ключевого вопроса, – снова берёт слово председатель. – Не хотелось бы здесь ночевать, поэтому предлагаю обсудить его быстро, хотя бы в предварительном порядке. Если будет необходимость, соберёмся специально в другой раз. Насколько я понимаю, директору нашей фабрики есть что сказать на эту тему.

– Если позволите, попробую быть кратким, – начинает своё очередное выступление главный возмутитель спокойствия. – Прежде всего, нам следует понять, что именно *нужно* планировать и *зачем*. Как правило, когда работа идёт по заказам, то известны крайние сроки выпуска (или отгрузки) готовой продукции. Это и есть главный план, – мы называем его **график сдачи**. Ясно, что он нужен, и ясно – зачем. Все остальные планы должны разрабатываться

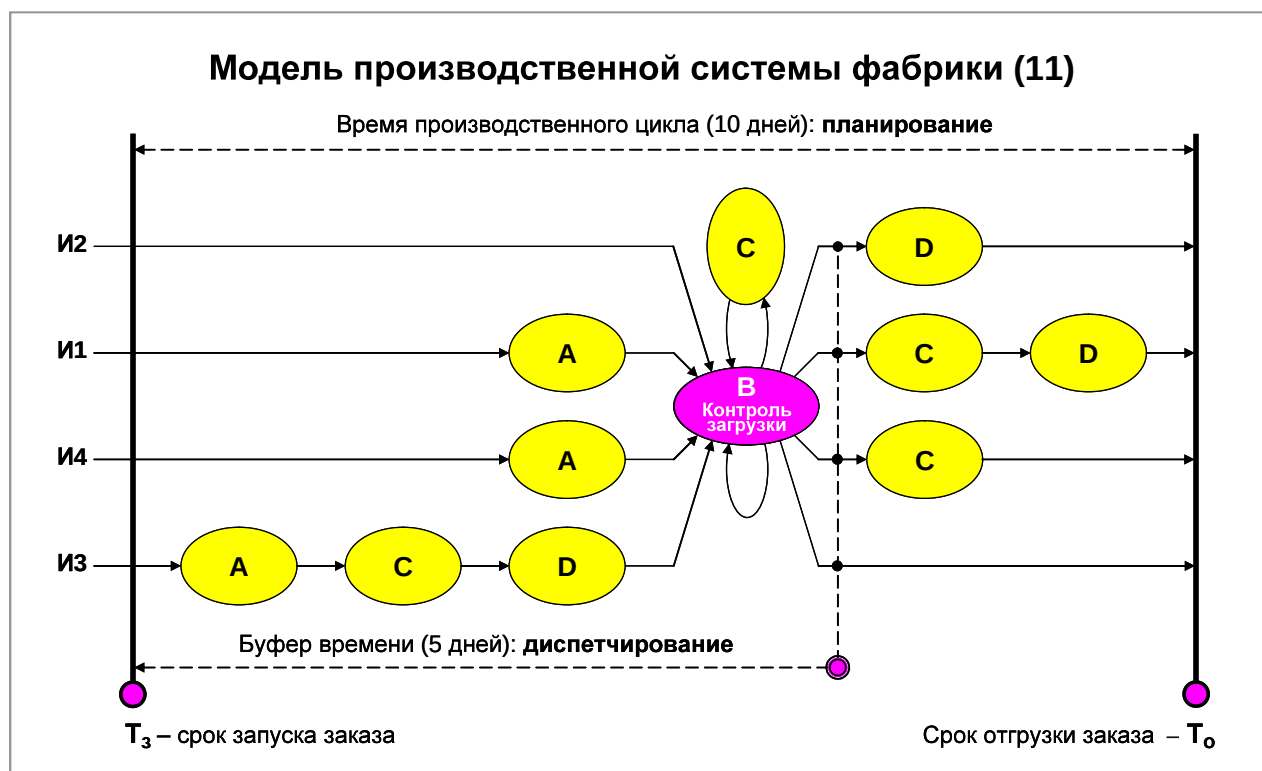
таким образом, чтобы поддерживать главный. Нет возражений?

– Тогда поехали дальше. Чтобы что-то изготавливать, на входе системы должно быть исходное сырьё. Поэтому необходим ещё один план, который мы называем **график запуска**. Понятно, зачем он нужен, - для того чтобы к определённым срокам обеспечить наличие соответствующих материалов. Эти сроки фиксируются в указанном плане и, очевидно, должны быть увязаны с графиком сдачи готовой продукции. Все согласны?

– Поясню на примере нашей фабрики (см. схему на врезке 11)¹². Помните, я говорил, что сегодня мы почти наверняка выполняем заказы в течение восьми рабочих дней с момента их запуска в производство. На самом деле, мы ещё немного страхуемся и клиентам объявляем 10 дней. Поэтому, если срок сдачи заказа известен, то нет смысла держать под него исходное сырьё за месяц. А вот за две недели (10 рабочих дней) в самый раз. Фактически реальный запуск может происходить (и часто происходит) позже, чем это указано в графике, - в соответствии с результатами ежедневного анализа «буфера времени», о котором раньше я тоже рассказывал. Однако соблюдение графика запуска служит гарантией того, что главный план не будет сорван по причине отсутствия необходимых материалов. Именно в этом и состоит его предназначение. Всё, ничего больше мы заранее не планируем.

– А как же с загрузкой станков? Ведь без предварительного планирования может оказаться так, что оборудование будет простаивать! Правильно?

– Правильно. Но нас это совершенно не беспокоит. Потому что увеличение



загрузки большинства станков не повышает пропускную способность всей системы в целом, а лишь приводит к накоплению внутри неё избыточных запасов незавершённого производства, что, в свою очередь, только ухудшает конечные показатели. Система действует с максимальной эффективностью только в том случае, когда не простаивает всего один-единственный ресурс, у нас это рабочий центр **В**. А для обеспечения его бесперебойной загрузки мы применяем специальный описанный выше механизм диспетчирования.

– Хорошо, если заказ уже запущен в производство, то срок его готовности вы можете определить с достаточно высокой достоверностью. Однако время запуска это ваше внутреннее дело, а клиенту важно знать этот срок в момент размещения самого заказа. Как здесь можно обойтись без планирования и учёта загрузки ресурсов? – интересуется один из членов совета директоров.

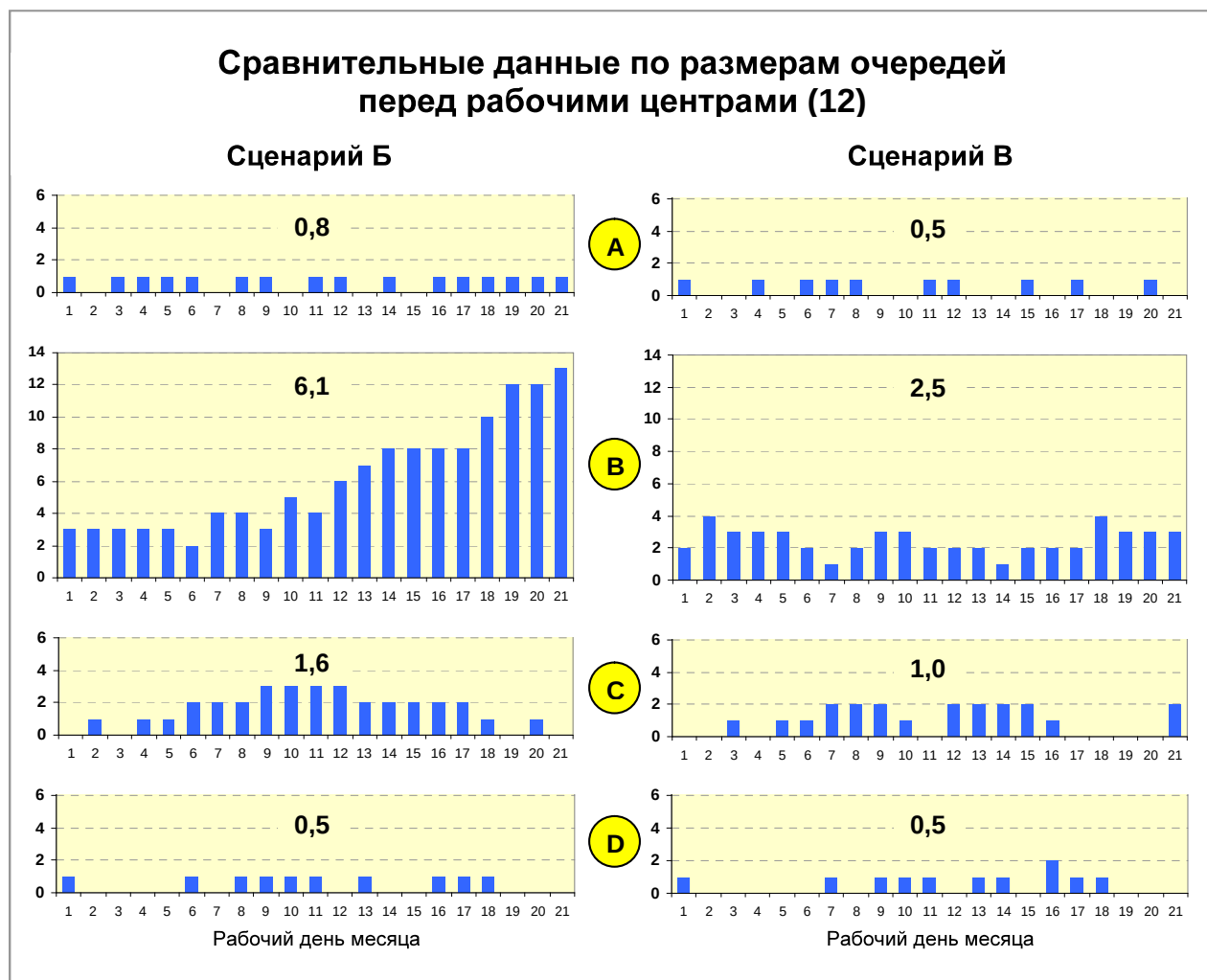
– Наша производственная система устроена так, что если запустить новый заказ сегодня, то он будет завершён через восемь (максимум десять) рабочих дней. Дальше мы считаем, сколько дней работы ресурса **В** потребуют уже принятые, но ещё не запущенные в производство заказы. Допустим, что в портфеле лежат два заказа на изделие типа **И1** и по одному на изделия типа **И2**, **И3** и **И4**, то есть на $(2 \times 1 + 2 + 1 + 2 =)$ 7 дней загрузки рабочего центра **В**. Значит, если заказ не приоритетный и будет идти в общей очереди, то гарантированный срок его исполнения составит 17 дней. А если в портфеле пусто или запустить вне очереди, то всего 10 дней.

– Итак, – готовится подвести предварительные итоги председатель, – мы прояснили ситуацию с эффективностью использования станков и прогнозом сроков выполнения заказов. Осталось понять, как без составления детальных расписаний можно устанавливать приоритеты обработки заданий отдельными рабочими центрами.

– Здесь вообще всё проще пареной репы, – бросается в последний бой директор фабрики. – За основу берётся правило ERD (первым обслуживается заказ с самой ранней датой запуска). Обычно этого бывает достаточно. Кроме того, в качестве дополнительного элемента диспетчирования у нас имеется система раннего предупреждения о возможных срывах графика сдачи готовой продукции. Мы называем её «светофором», потому что в ней используется цветовой код¹³.

– Не надо подробностей, – прерывает председатель. – Закругляйтесь.

– Только одно заключительное замечание. Вопрос приоритетов обработки имеет смысл при наличии больших очередей к рабочим центрам. Раньше так было и у нас. Но после внедрения новой схемы управления производством очереди практически исчезли. А если перед станком находится всего одно задание, то вопрос приоритета просто не возникает. Для иллюстрации могу привести сравнительные данные по рассмотренным выше сценариям Б и В (см. врезку 12). Напомню, что в первом случае применялись специальные



методы составления детальных расписаний с использованием компьютерной чудо-программы, а во-втором использовался алгоритм стабилизации системы, основанный на простейших правилах диспетчирования. Смотрите, средний размер очереди за месяц во втором случае всегда ниже, и за исключением рабочего центра **В** составляет не более одного задания в день. Причём даже для **В** эта величина почти в два с половиной раза меньше, чем по результатам компьютерной «оптимизации». ...

— Всё, ваше время вышло, — объявляет председатель. — Думаю, что мы достаточно подробно обсудили текущее положение дел. Надо признать, что на фабрике действительно удалось разработать и внедрить весьма оригинальную систему управления производством, благодаря которой получены неплохие результаты. Жаль, что этот опыт невозможно распространить на наш завод. Не так ли, коллега? — обращается он к одному из членов совета. — Что-то давно не слышно ваших критических комментариев.

— Почему же невозможно? — отзывается «скептик». — Я очень внимательно слушал директора фабрики и пришёл к прямо противоположному выводу. Мне кажется, что предложенная модель прекрасно подходит практически для

любого многопередельного дискретного производства.

– Погодите, но в ней же всё построено вокруг одного элемента, «узкого места», которое определяется спецификой данного конкретного предприятия.

– А что мешает организовать подобное «узкое место» в любом другом производстве? Помните, в точности это же самое консультанты предлагали сделать на нашем заводе?

– То есть искусственно ограничить пропускную способность системы?

– Нет, сделать систему простой в управлении, стабильной в работе и выжать из неё максимум того, на что она способна.

– Но я слышал от специалистов, что для мелкосерийного позаказного производства «узкое место» локализовать невозможно. Более того, положение таких «узких мест» со временем меняется непредсказуемым образом. Не говоря уже о том, что они могут проявляться одновременно в разных частях системы.

– Вероятно, всю эту чушь вам рассказали «специалисты» по составлению производственных расписаний. Многие путают два разных понятия: «узкое место» и физическое ограничение. Физическое ограничение это такой ресурс, который объективно не даёт системе выпускать больше продукции. При известных технологических маршрутах и заданной структуре спроса он, как правило, только один. Например, очевидно, что для нашей фабрики это будет рабочий центр **В**. А «узкое место» это любой ресурс, потребность в котором превышает его возможности. Но это ещё не всё. Оба понятия имеют смысл только в привязке к определённым интервалам времени. Посмотрите на последнюю диаграмму, показанную директором фабрики (см. врезку 12). Для рабочего центра **Д** и сценария **В** размер очереди на 16-й день составляет два задания, а производительность этого станка всего одно задание в день. То есть потребность превышает возможности. Это «узкое место»? Конечно же, нет! Сегодня там два задания, а послезавтра будет пусто. И в течение месяца этот ресурс в общей сложности загружен всего 10 дней!

– А теперь обратите внимание на рабочий центр **С**. Для сценария **В** его среднемесячная загрузка составляет ровно одно задание в день. То есть не выше его реальных возможностей. Значит, **С** не является «узким местом». При правильном управлении системой так должно быть для любого физического ресурса, кроме ограничения. Но что будет происходить, если действовать в соответствии со сценарием **Б**, предложенным программой расчёта детальных расписаний? Среднемесячный размер очереди перед ресурсом **С** составит 1,6 заданий в день, то есть значительно превысит его потенциал. Откуда же взялось это «узкое место»? Может быть, это объективное свойство системы? Нет, его породил компьютер в результате бездумной «оптимизации». Вот так и появляются «блуждающие», «распределённые» и прочие так называемые

«ложные»¹⁴ узкие места. Таким образом, имея одно-единственное реальное внутреннее физическое ограничение, в зависимости от способа управления производственной системой в ней можно получить одно, ни одного или одновременно несколько «узких мест».

– Полагаю, – быстро вставляет председатель, – на этой оптимистической ноте имеет смысл завершить наше сегодняшнее затянувшееся обсуждение и подвести черту.

ВЫВОДЫ

- При наличии вариабельности и зависимости процессов (то есть в условиях почти любого реального производства) «несбалансированные» линии с одним внутренним ограничением и механизмами синхронизации потоков типа DBR эффективнее «сбалансированных» линий; они обеспечивают более высокую пропускную способность, стабильность и низкие уровни незавершённого производства.
- В условиях вариабельности и зависимости процессов предварительное планирование путём составления детальных производственных расписаний представляет собой бессмысленное занятие. Если заданные операционные нормативы меньше фактических максимальных значений, то рассчитанные по ним планы с высокой вероятностью не будут выполнены. Наоборот, если детальные планы на предприятии выполняются, то это означает лишь наличие в производстве значительных скрытых неиспользуемых ресурсов.
- Управление любым многопередельным дискретным производством в условиях неопределённости может быть организовано по схеме S-DBR на основе укрупнённого планирования в двух критических точках (запуск и выпуск готовой продукции) с применением простых механизмов контроля общей загрузки системы и диспетчирования потоков.

ССЫЛКИ И КОММЕНТАРИИ

- ¹ Цитируется по материалам интернет-дискуссии 1996 года о принципах «минимального планирования»: casparija.home.comcast.net/dweb/l63.htm
- ² См. предыдущую часть настоящей статьи, начиная с раздела «Игра в кости», где приводится описание и анализ результатов компьютерного моделирования для цепочки последовательной обработки со «сбалансированными» мощностями.
- ³ См. сценарий В из предыдущей части настоящей статьи.
- ⁴ Детмер У., Шрагенхайм Э. *Производство с невероятной скоростью: Улучшение финансовых результатов предприятия*. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2009.

- 5 **Youngman K. J.** *A guide to implementing the Theory of Constraints (TOC).* - <http://www.dbrmfg.co.nz/Production%20DBR.htm>
- 6 Воспроизводится один из вариантов игры в универсальное производство (Job-Shop Game), больше известной как «**симулятор Хольта**»: <http://public.wsu.edu/~engrmgmt/holt/em530/Docs/JSGLinstinfo.htm>. Экономические параметры добавлены мной в модель для полноты картины.
- 7 Эффект роста фактической точки безубыточности в системах с постоянным накоплением незавершённого производства описан в предыдущей части настоящей статьи.
- 8 Несколько лет назад на одном из профессиональных Интернет-форумов рассматриваемая постановка задачи была предложена в качестве теста для сравнения различных подходов к оперативному планированию и диспетчированию производства; здесь приводится одно из решений, полученных Е. Б. Фроловым при помощи MES-системы ФОБОС: <http://www.forum.mbg.ru/viewtopic.php?t=78&postdays=0&postorder=asc&start=0>
- 9 Соответствующую компьютерную модель легко запрограммировать, например, в EXCEL 'е, используя встроенный датчик случайных величин.
- 10 **Garbage In - Garbage Out** (буквально, «мусор на входе - мусор на выходе») – ставшее классическим выражение из области информационных технологий, характеризующее эффект от применения сложных компьютерных расчётов при обработке неточных, искажённых или даже неверных исходных данных. В последнее время трансформировалось в вариант “Garbage In - Gospel Out” (буквально, «мусор на входе - священное писание на выходе»), в котором дополнительно подчёркивается слепая вера неискушённых пользователей в выдаваемые компьютером результаты.
- 11 **Жаринов С.** *О мотивации и демотивации работников.* – www.leanzone.ru
- 12 Описанная модель основана на методике **S-DBR** (упрощённая версия стандартного решения ТОС «барабан-буфер-верёвка»); см., например (4).
- 13 Имеется в виду механизм контроля, применяемый при организации управления производством по схеме DBR, в котором весь буфер времени делится на «зелёную», «жёлтую» и «красную» зоны; см., например (4).
- 14 «**Ложное**» узкое место (Apparent Bottleneck) – ресурс, который оказывается перегружен в течение длительного периода времени в результате применения неправильной политики управления материальными потоками; см. например (5). По поводу «блуждающих» узких мест в Интернете можно также найти интересную работу: **Woepfel M.** *Solving the Wandering Bottleneck Problem.* - <http://www.pinnacle-strategies.com/articles/Moving%20bottleneck.pdf>
- 15 Автор признателен Михаилу Шубину за разработку соответствующего прототипа для моделирования и расчёта времени производственного цикла.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.