

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕОРИИ ОГРАНИЧЕНИЙ ГОЛДРАТТА И 1С: ERP

## THE AUTOMATION OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISES WITH APPLICATION OF THEORY OF CONSTRAINTS, GOLDRATT AND 1С

*R. Avkhadiev*

*Summary.* At the present stage enterprises are paying increasing attention to international best practices in the field of production management and looking for sources of organization's most effective production systems.

One of these practices is the theory of constraints. At the moment, the theory of constraints is one of the most popular concept in organization management. This theory is widely used in enterprises of almost all advanced countries of the world. The theory of constraints (Theory of Constraints, TOC) is a management methodology developed in the 1980-ies Eliyahu Goldratt, according to which no production system can't work faster than its slowest component. In other words, an industrial site, working with minimal speeds, or work post that is the least productive, set the pace for the whole production process, providing it with the restriction.

Restriction is a powerful management tool that allows companies to resolve systemic problems — finding the deep causes system conflicts. Often, in order to resolve conflict situations, companies find compromises. However, the compromise does not resolve key issues.

Theory Goldratt provides a universal means and tools to fully address deep-rooted problems in the business. The theory of constraints maintains that every system has a small number of constraints, and they are the key to its control.

This article presents the practical approach of the theory of constraints in automation of industrial enterprise on the basis of software product «1С: Enterprise 8»

*Keywords:* Production planning, management, theory of constraints, 1С, ERP

**Авхадиев Рустем Ахмедович**

Аспирант, Казанский Национальный  
Исследовательский Технический Университет  
им. А. Н. Туполева — КАИ (КНИТУ-КАИ)  
psilon@inbox.ru

*Аннотация.* На современном этапе предприятия уделяют все большее внимание лучшим мировым практикам в области производственного менеджмента и ищут источники организации наиболее эффективных производственных систем. Одной из таких практик является теория ограничений. На данный момент теория ограничений является одной из наиболее популярной и востребованной концепции в менеджменте организации. Данная теория широко применяется на предприятиях практически всех передовых стран мира. Теория ограничений (Theory of Constraints, TOC) — это методология управления, разработанная в 1980-е годы Элияху Голдраттом, согласно которой, ни одна производственная система не может работать быстрее самой медленной своей составляющей. Иными словами, производственный участок, работающий с минимальными скоростями, или рабочий пост, который является наименее производительным, задают темп всему производственному процессу, являясь для него ограничением. Ограничение — мощный инструмент менеджмента, позволяющий компаниям разрешать системные проблемы — находить глубокие причины системных конфликтов. Зачастую для того, чтобы устранять конфликтные ситуации, компании находят компромиссы. Однако компромиссы не разрешают ключевых проблем. Теория Голдратта предоставляет универсальные средства и инструменты для полного решения глубоко укоренившихся проблем в бизнесе. Теория ограничений утверждает, что в каждой системе присутствует небольшое число ограничений, и они являются ключом к ее управлению.

В настоящей статье представлено описание практического подхода использования теории ограничений при автоматизации промышленного предприятия на базе программного продукта «1С: Предприятие 8»

*Ключевые слова:* Производственное планирование, менеджмент, теория ограничений, 1С, ERP

## Введение

**О**граничения, о которых говорит Э. Голдратт[2], делятся на две большие группы — физические и управленческие. Первые — узкие места, которые не позволяют увеличивать производительность. Вторые — стереотипы и убеждения, которые никто не ставит под сомнение. Причем именно управ-

ленческие ограничения составляют 90–95% общего объема.

## Типы ограничений

Ограничение мощности — недоиспользование ресурса, который требуется системой, чтобы создать дополнительный продукт в единицу времени.

Ограничение объема рынка — недоиспользование конъюнктурных рыночных ожиданий, которые можно использовать для увеличения роста заказов.

Ограничение времени — недоиспользование времени реакции системы на нужды рынка, что в конечном итоге приводит к невозможности выполнения обязательств перед заказчиками, а также нарастить бизнес-мощности.

Управление ограничениями с использованием программного продукта «1С: Предприятие 8» позволяет промышленному предприятию существенно повысить эффективность производства.

### 5 направляющих шагов теории ограничений

Элияху Голдратт сформулировал пять направляющих шагов теории ограничений, которые делают реорганизацию системы быстрой и эффективной:

Поиск ограничений системы. Как правило, труднее всего начать и найти одно основное ограничение или их группу, более всего влияющее на процесс.

Принятие решений о способах максимизации использования ограничений системы. После завершения поиска необходимо определить, как получить максимальный эффект от использования этого ограничения. Самое простое — тем или иным способом повысить производительность «узкого места» [3].

Подчинение «неограниченных» элементов системы принятым решениям. На третьем этапе нужно посмотреть, как начнет работать обновленная система и согласовать действия всех элементов с предложенной стратегией.

Все ограничения должны быть выявлены, и производительность соответствующих операций доведена до такого уровня, при котором поддерживается требуемая производительность ограничивающей процесс операции [3]. Пять направляющих шагов Элияху Голдратта напрямую связаны с тремя вопросами о преобразованиях (что изменять, на что изменять, как осуществить перемены). Чтобы понять, что именно менять, реализуется шаг 1- поиск ограничений системы.

Чтобы выяснить, на что изменять, решается вопрос, как ослабить ограничение и вносим изменения в работу системы — шаги 2 и 3. Если шагов 2 и 3 недостаточно для устранения ограничения, то полностью снимается ограничение — шаг 4. На шаге 3 и 4 конкретизируется, «как осуществить перемены»

### Система «Барабан-Буфер-Веревка»

Применение синхронизированного поточного производства и системы «барабан-буфер-веревка» (ББВ) может служить хорошей отправной точкой для сокращения объемов незавершенного производства и зачастую продолжительности времени цикла, ограничивая темпы поступления заготовок на обработку в зависимости от производительности ограничивающей операции [2]. В то же время эти системы не в состоянии преодолеть многие проблемы увеличения продолжительности цикла, обусловленные изготовлением изделий партиями и сопряженными с ним очередями и длительными переналадками оборудования. Контрольная точка служит тем барабаном, удары которого задают ритм всей системе и устанавливают уровень производительности производственного процесса в целом.

«Веревка» связывает начальную операцию с производительностью процесса в контрольной точке. Уровень запасов в той части процесса, которая обозначена термином «веревка», определяется производительностью «барабана» и наблюдаемой продолжительностью производственного цикла. Если, например, производительность операции, служащей «барабаном» для всего процесса, составляет 100 изделий в день, а продолжительность производственного цикла равна 10 дням, то «веревка» содержит запас, равный 1000 изделий.

Система ББВ обеспечивает высокую точность контроля уровня запасов на участке процесса от его начала до ограничения («веревка»). Ни при каких обстоятельствах новая работа не должна начинаться без соответствующего сигнала с выхода ограничивающей операции (контрольной точки). Не следует вмешиваться в работу системы ББВ, и она самостоятельно будет поддерживать минимальный уровень запасов.

Буфер, или тот запас материалов, который предприятие сознательно размещает перед контрольной точкой процесса во избежание его остановок, поддерживает равномерный темп ударов «барабана» (производительность ограничивающей процесс операции или его контрольной точки). Буфер может находиться как непосредственно перед контрольной точкой процесса, так и быть равномерно распределенным по всем предшествующим операциям. Способность буфера устанавливаются во время бесперебойной работы производственного процесса и определяют в зависимости от продолжительности производственного цикла от начала процесса до контрольной точки.

Например, если требуется создать трехдневный буфер для контрольной точки, установленная производительность которой составляет 100 изделий в день,

то его общий объем, буфера, распределенного по предшествующим операциям, должен быть равен 300 изделиям. Размещение этого буфера диктуется наблюдаемыми продолжительностями времени цикла: чем короче время цикла на операциях, предшествующих контрольной точке, тем меньше может быть допустимый объем буфера. Управление резервными запасами (буферами) заключается в подборе и поддержании объемов запасов в буферах, обеспечивающих требуемую пропускную способность всего процесса.

Голдратт установил три уровня объема буфера в зависимости от срочности его пополнения:

- ◆ нормальный (ОКЕЙ);
- ◆ наблюдай и планируй (требующий наблюдения и планового пополнения);
- ◆ действуй (требующий немедленных действий).

Такая классификация применима как к буферу, находящемуся внутри процесса перед ограничением, так и к отгрузочным буферам.

ББВ упорядочивает прохождение потока в месте ограничения системы, делает его ритмичным и постоянным, но он не может существенно увеличить поток, так как не решает задачи ни по расширению ограничения, ни по его обходу. Другими словами, метод «барабан-буфер-веревка» задает следующие принципы Теории ограничений:

«Барабан» — производство должно работать по некоторому ритму.

«Буфер» — перед ограничением должен присутствовать буфер запасов материалов, защищающий ограничение от простоев.

«Верёвка» — чтобы не перезагрузить производство, материалы должны подаваться в производство только тогда, когда запасы перед ограничением достигли некоторого минимума, не раньше.

Теория ограничений является управленческим подходом, обеспечивающим ускорение создания ценностей[4]. В отличие от системы бережливого производства, которая на основании времени такта направлена на синхронизацию потока, в теории Голдрата синхронизация осуществляется на основании фокусировки внимания на факторе, ограничивающем поток (корневая проблема). Причём решается, как с максимальной пользой использовать ограничение и подчинить все остальное данному варианту решения.

Сила этой теории заключается в логических мыслительных инструментах, которые позволяют эффек-

тивно обнаруживать корневые проблемы, находить простые и практичные решения, и обеспечивать мотивацию, вовлеченность и сотрудничество всего персонала. Благодаря универсальности системы, данные инструменты используются успешно в различных областях бизнеса [1]. Внутри любой организации работает принцип гармонии, исходя из которого, все решения нужно принимать на основе главной цели компании, а также на основании интересов сотрудников — этому учит теория ограничений. Работники будут поддерживать любые изменения, если они согласны в отношении главной проблемы, а также с тем, что конкретное решение выполнимо, оно приведёт к повышению показателя результативности, и не будет создавать отрицательные последствия. Изменения будут проходить легко, без сопротивления со стороны коллектива, на основе увеличения сотрудничества и мотивации.

Фокусировка на корневой проблеме позволяет добиться результата очень быстро, за один-два месяца. Теория ограничений успешно применяется в таких сферах, как:

производство (уменьшение производственного цикла; увеличение числа заказов, выполненных в установленный срок);

управление проектами (увеличение количества проектов, выполненных в рамках бюджета и в нужный срок);

здравоохранение (увеличение пропускной способности организаций);

- ◆ управление закупками;
- ◆ маркетинг (построение предложения ценности);
- ◆ продажи (увеличение продаж).

Сначала нужно организовать поток. Если нет потока, то все производство представляет собой одно большое ограничение, точнее, каждый станок, каждый участок, каждое подразделение в какой-то момент времени становится ограничением. Потом это ограничение перемещается к другому объекту организации и так далее. Причин может быть много: от отсутствия планирования, до неправильного определения оптимальной партии запуска деталей или несогласованности в действиях участков. При правильно организованном ритмичном потоке ограничение проявит себя само — на входе ограничения всегда скапливается большое количество заказов. Но это вовсе не означает, что ограничение нельзя вычислить заранее и подготовиться к работе с ним. Когда ограничение найдено, с ним нужно работать. Так как это ограничение всего предприятия, то все, что не пройдет через это ограничение, то и не сгенерирует доход

всего предприятия. Значит нужно сделать так, чтобы ограничение работало постоянно — простые ограничений недопустимы [6].

Размер буфера, очевидно, определяется исходя из цикла работы ограничения и времени восполнения буфера. Но организация работы ограничения системы не снимает главную задачу — существенно увеличение потока, а лишь упорядочивает движение потока через ограничение. Поэтому, необходимо, во-первых, расширить это ограничение. Здесь нужно использовать любые управленческие, технологические, мотивационные и другие методы в зависимости от характера ограничения. Во-вторых, это ограничение нужно обойти. В этом случае необходимо подключать все службы предприятия (справедливости ради нужно сказать, для решения любых проблем предприятия необходимо подключать почти все подразделения потому, что, часто, простое решение является нестандартным, и находится в другой плоскости). Возможно, внести существенные изменения в технологии, или поменять поставщиков. Решений может быть много, и нужно проработать их все. Это позволит выбрать действительно самое эффективное или сразу несколько, и позволит подстраховаться на случай неудачи.

М. Врон в своем исследовании [7] изучил распространение теории ограничений. В его исследовании принимали участие респонденты со всего мира: из США, Индии, Польши, Франции, Великобритании и так далее. В мире, как и в России, самой популярной отраслью применения теории ограничений является производство

Исследование М. Врона показало, что две трети респондентов знакомы со всеми перечисленными в опросе инструментами теории ограничений. 95% респондентов, применявших теорию ограничений, получили положительный экономический эффект. 42,6% респондентов получили значительные конкурентные преимущества, 36,8% — небольшие.

В вопросах использования методов теории ограничений в различных сферах деятельности исследователи выделяют следующие особенности:

В сфере производства на заказ это — «Упрощенный Барабан-Буфер-Веревка». От этого решения ожидается достижение высокого уровня надежности поставок (Due Date Performance — DDP), объединенного с конкурентоспособными сроками выполнения заказов (Quoted Lead Times — QLT). Внедрение этого решения делает компанию надежной и конкурентоспособной в части обслуживания клиентов.

В сфере дистрибуции компания, имеющая собственную систему дистрибуции, а это — региональные склады, и даже торговые точки при заводах и принадлежащие ей магазины, может внедрить решение теории ограничений, которое называется «Дистрибуция для обеспечения наличия». Решение обеспечивает поставку продукции с заводского, т.е. центрального склада в нижестоящие точки цепи поставки. При правильном внедрении система обеспечивает высокий уровень наличия продукции в цепи поставки одновременно с очень низким уровнем запасов и высокой оборачиваемостью запасов [5].

В сфере разработки новой продукции многие машиностроительные предприятия, например, для разработки новой продукции имеют в своем составе собственные конструкторские подразделения, которые внедряют теорию ограничений для управления проектами — управление проектами по методу Критической цепи» (Critical Chain Project Management — CCPM)[6], которое позволит заметно улучшить их деятельность. Как правило, его применение позволяет выполнять проекты по разработке вовремя, в рамках бюджета и изначальных спецификаций. Систематичная работа в рамках этого метода помогает сократить ожидаемую длительность выполнения проектов, и, следовательно, сократить время вывода новой продукции на рынок, а также повысить шансы достижения хорошей отдачи вследствие возможности поставки новой продукции раньше конкурентов.

В сфере управления людьми на протяжении внедрения теории ограничений и затем на ежедневной основе менеджмент может применить методику «Мыслительные процессы ТОС». Эта методика представляет собой управленческие инструменты для решения конфликтов между отдельными сотрудниками, между функциональными подразделениями, для устранения стен недоверия, которые в настоящее время способны привести к трудностям в совместной работе по достижению цели компании.

#### Реализация теории ограничений Голдратта средствами «1С: Предприятие 8. ERP»

На современном этапе для реализации управления любыми явлениями или процессами, в том числе, производственными, технологическими, планирования, прогнозирования разработано множество прикладных программных решений. Одним из эффективных инновационных решений для управления деятельностью предприятия является система «1С: Предприятие 8. ERP», концепция планирования производства которой основана на теории ограничений Голдратта.

В целом, планирование производства в системе реализовано на двух уровнях: глобального и локального диспетчера.

На уровне глобального диспетчера используется планирование всей производственной цепи, в целом, по участкам и подразделениям. На данном уровне формируется система операций, которые выполняются в каждый интервал времени, но не определяется время для их выполнения. Управление выполнением графика производства, исполнителями которого являются отдельные производственные подразделения. Это управление на межцеховом уровне. Функцию межцехового управления обычно исполняет производственно-диспетчерский отдел предприятия (ПДО). Формируется график выполнения этапов производства подразделениями, без детализации операций внутри этапа. Ведется координация процессов передачи результатов этапов между подразделениями. При отклонениях от графика — выполняется перепланирование графика, потребители оповещаются о срыве сроков.

Для планирования производства на каждом интервале используется локальный уровень, основой при этом служит информация о системе операций, полученная от глобального диспетчера. Здесь же определяются рабочие центры и последовательность обработки в производственном процессе

На этом уровне организуется исполнение графика производства в отдельном подразделении — обособленной зоне ответственности диспетчера подразделения (цеха, участка). Для исполнения графика диспетчер формирует маршрутные листы, которые являются основным объектом управления в подразделении и отображают запланированный этап производства в процессе его исполнения. Диспетчер формирует расписание выполнения маршрутных листов на рабочих центрах, организует и контролирует выполнение этого расписания.

Теория ограничений в 1С: ERP в полной мере показывает себя при применении методики планирования ББВ («Барабан-Буфер-Веревка») посредством следующих этапов работы:

#### Разбиение производства на этапы

Выделение ключевого рабочего центра на каждом этапе (барабан) с указанием точной информации о его производительности. Все работы, выполняющиеся до и после него характеризуются обобщенным временем выполнения, за которое они гарантировано должны быть выполнены (буфер).

«Рабочий центр» (РЦ) — часть производственного пространства, в которой организованы производственные ресурсы (оборудование) и труд, определяется как исполнитель технологической цепочки, как объект управления при выполнении расписания маршрутных листов.

В системе 1С: ERP под рабочими центрами понимаются производственные участки (цех, станок, группа станков и пр.), участвующие в технологических процессах. Под видом рабочих центров понимается некое обобщение рабочих центров, имеющих полную взаимозаменяемость на всех этапах производства всех видов продукции.

Виды рабочих центров указываются в этапах производства, и в дальнейшем используются для целей планирования на уровне глобального диспетчера. Работу рабочих центров внутри этапа производства планирует локальный диспетчер.

Планирование графика производства на основе информации из этапов производства. Таким образом, планирование производства выполняется только на основе информации о ключевых центрах (барабанах) и не требует подробного описания всех участков производства.

Для универсального управления процессами производства добавлена возможность планировать производство по упрощенной схеме УББВ (Упрощенный «Барабан-Буфер-Веревка») и по схеме Операционное планирование (планирование с детализацией до технологических операций, как в программе 1С: УПП).

Методика УББВ используется в организациях с малой загруженностью производственных мощностей, где нет необходимости рассчитывать доступность загруженного оборудования. Методика ББВ необходима в организациях с дефицитом ресурсов, например, высокая загруженность одного оборудования. Прежде чем начать производство необходим расчет графика производства с учетом ограниченной доступности оборудования, например, сколько в час (день) сможет произвести готовых изделий определенное оборудование.

Пооперационное планирование применимо в серийном, сложном производстве, где необходимо решить задачу согласования производственной программы с производственными мощностями цеха. Эта задача решается с помощью пооперационного планирования всего оборудования (рабочих центров) производства.

По всем операциям (операционное планирование) [8]:

- ◆ планируются все операции Маршрутной карты;

- ◆ учитывается очередь маршрутных листов;
- ◆ учитывается время переходов с РЦ;
- ◆ учитываются ограничение мощности РЦ;
- ◆ учитываются особенности конкретной партии;
- ◆ возможность перепланирования с учетом приоритетов;
- ◆ возможность дальнейшего развития до MES-уровня.
- ◆ По ключевому рабочему центру (ББВ — метод «барабан-буфер-веревка»):
- ◆ определение «слабого звена производства» — ключевого РЦ;
- ◆ обеспечение оптимальной работы ключевого РЦ;
- ◆ определение графика работы рабочего центра без использования маршрутных карт;
- ◆ разработка детального графика работы для ключевого РЦ;
- ◆ использование семафорной системы управления.

Без ограничений (УББР — упрощенный метод «барабан-буфер-веревка»):

- ◆ расчет производственного цикла без ограничений;
- ◆ определяется дата запуска и дата выпуска в маршрутном листе;
- ◆ не обязательность составления расписания работы РЦ.

В общем случае алгоритм планирования производства в 1С: ERP реализуется на основе следующих этапов:

Для каждого производственного подразделения временная ось разбивается на равные интервалы. Например, сутки или недели — это самые востребованные варианты. Причем для каждого подразделения интервал настраивается индивидуально.

В заказе на производство задаются желаемые дата запуска и выпуска.

В каждом подразделении описываются виды рабочих центров (ВРЦ), имеющиеся в подразделении, а также доступный суммарный плановый фонд времени работы ВРЦ с учетом ремонтов. ВРЦ состоит из отдельных РЦ, но при планировании учитывается суммарный фонд времени ВРЦ.

В спецификации на этап производства указывается:

- ◆ в каком подразделении выполняется этап,
- ◆ рабочее время каких ВРЦ этого подразделения необходимо захватить при выполнении спецификации этапа.

В спецификации этапа следует указывать только потенциально узкие места (ВРЦ) подразделения. В этом случае график межцеховых передач по заказу будет строиться согласно захвату времени работы этих ВРЦ, без учета тех ВРЦ, которые не являются узкими местами.

Программа планирует первый заказ слева-направо. Первый этап производства продукта по заказу размещается в том интервале (самом близком к текущей дате, но не раньше даты-ограничителя «начать не ранее»), где есть достаточное время работы всех ВРЦ, которые загружает этот этап согласно спецификации. Начало этого интервала и будет расчетной датой запуска заказа в производство.

При этом этап захватывает время работы «узких» ВРЦ, указанных в его спецификации, и делает это захваченное время недоступным для всех последующих менее приоритетных заказов.

Следующий этап размещается в следующем интервале, в котором есть свободное время ВРЦ, необходимых для его выполнения. Таким образом, программа постепенно «поднимается» вверх по структуре изделия, и определяет расчетную дату выпуска по заказу.

После того, как производство заказа будет распланировано для каждого подразделения в каждом интервале, по каждому ВРЦ останется остаток доступного времени, который могут захватывать следующие в очереди заказы. Заказы планируются согласно очереди: каждый новый заказ захватывает время ВРЦ, оставшееся от всех предыдущих заказов, стоящих в очереди перед ним.

Таким образом, в заказе указываются желаемые даты запуска и выпуска, а после планирования получается реальная расчетная дата запуска и выпуска согласно распланированной загрузке ВРЦ по заказу. В системе хранятся все эти четыре даты.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрена Теория ограничений Голдратта, система «Барабан-Буфер-Вереvка». Описаны подходы к реализации теории ограничений.

Дана информация о распространении и внедрении теории ограничений в мировой практике.

Приведен практический опыт использования теории ограничений при автоматизации на платформе «1С: Предприятие»

ЛИТЕРАТУРА

1. Э. Шрагенхайм. Теория ограничений в действии: Системный подход к повышению эффективности компании, 2014
2. Э. Голдратт, Джефф Кокс. Цель. Процесс непрерывного совершенствования, 2009.
3. Э. Голдратт, Джефф Кокс. Цель. Процесс непрерывного улучшения. Цель-2. Дело не в везенье, 2008.
4. Э. Голдратт, Шрагенхайм Элия, Птак А. Керол. Цель-3. Необходимо, но не достаточно, 2009.
5. У. Детмер. Теория ограничений Голдратта. Системный подход к непрерывному совершенствованию, 2010.
6. Э. Голдратт. Критическая цепь, 2009
7. М. Врон. Диагностика теории ограничений, 2013
8. О. Демиденко Принципы Теории системных ограничений (планирования производства в ERP)

© Авхадиев Рустем Ахмедович ( psilon@inbox.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

