

Россия, г. Екатеринбург

Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б.Н. Ельцина

Гизатуллин А.Р.

студент

2 курс, факультет «Прикладная информатика и информационные

технологии»

Институт фундаментального образования

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ПРОГНОЗНОЙ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Аннотация: В данной статье представлен подход к проверке прогнозируемой надежности систем детального планирования путем выявления отклонений между прогнозируемым графиком производства, определенным ИТ-системой, и наблюдаемыми производственными процессами в реальности. В статье представлены причины отклонений и объяснено, как их можно определить. Подход представляет собой то, как можно применять категориальные и непрерывные методы проверки для выявления описанных отклонений. В зависимости от выявленных отклонений разрабатывается показатель качества прогноза систем детального планирования. Помимо оценки качества прогноза специалистов по планированию производства интересуют причины отклонений. Выявленные причины являются отправной точкой для адаптации моделей планирования, чтобы обеспечить надежный прогноз реконфигурируемых систем планирования производства в будущем.

Ключевые слова: планирование производства; производственный контроль; переменчивость; реконфигурация.

Annotation: *This article presents an approach to testing the predictive reliability of detailed planning systems by identifying deviations between the predicted production schedule determined by the IT system and the observed production processes in reality. The article presents the causes of deviations and explains how they can be determined. The approach is how categorical and continuous testing methods can be applied to identify the described deviations. Depending on the identified deviations, an indicator of the quality of the forecast of detailed planning systems is developed. In addition to assessing the quality of the forecast, production planners are interested in the causes of deviations. The identified causes are the starting point for adapting planning models to provide a reliable forecast of reconfigurable production planning systems in the future..*

Key words: *production planning; production control; changeability; reconfiguration.*

1. Введение

В связи с растущей потребностью в высококачественной индивидуальной продукции по конкурентоспособным ценам динамика производственных процессов еще больше возросла [1]. Чтобы справиться с этой задачей, необходимо эффективное планирование и контроль производства (PPC) [2]. Поэтому ИТ-системы незаменимы. ИТ-системы, поддерживающие пользователя в планировании производства, такие как Advanced Planning and Scheduling Systems (APS Systems), называются системами планирования производства. Их функциональная модель и модель данных должны быть изменчивы в соответствии с высокой динамикой производственных процессов [3]. Тем не менее, существует разрыв между реализованными моделями и реальностью в цехах, что подтверждают анализы в производственных компаниях. Сходство между планом, определенным системой планирования, и реальной ситуацией в цеху снижается до 25 % уже через 3 дня, с показом индивидуальной и мелкосерийной продукции [4].

Поскольку строгое соблюдение сроков поставки является основной целью логистики [5], каждая производственная компания заинтересована в надежности прогнозируемого производственного плана, чтобы использовать его в качестве основы для гарантированных подтверждений даты поставки. Можно резюмировать следующие недостатки существующих систем планирования:

- недостаточное представление реальной ситуации с точки зрения обратной связи;
- жесткие конструкции и недостаточная адаптивность систем планирования;
- отсутствие постоянной корректировки основных и транзакционных данных, а также моделей в соответствии с реальной средой;
- отсутствие учета отклонений между моделью, реализованной в системе планирования, и реальной ситуацией производственных процессов.

Эти проблемы приводят к ненадежным прогнозам будущей ситуации в производстве. Следовательно, точный имидж производства будет еще более важным в будущем. В рамках финансируемого государством исследовательского проекта «ProSense» разработана высокоразрешающая система управления производством на основе систем кибернетической помощи и интеллектуальных датчиков [6]. С помощью интеллектуальных датчиков генерируется больше данных, чтобы получить более детальное представление о ситуации в производственных процессах. На основе кибернетического контроля второго порядка выявляются проблемы в процессах планирования и производства, чтобы определить меры для предотвращения этих проблем в будущем. В этой статье основное внимание уделяется определению и адаптации отклонений в планах, определенных системой детального планирования, для обеспечения надежного планирования производства.

2. Требования

Сегодня компании полагаются на системы детального планирования для управления сложностью производства и поддержки РРС. Требования к таким ИТ-системам включают надежное заявление о дате завершения всех заказов и, таким образом, надежное достижение даты, согласованной с заказчиком. Представленные недостатки современных систем планирования, применяемых в производстве, приводят к ряду требований к системам планирования: Непрерывная адаптация данных, используемых для планирования. Непрерывная корректировка моделей, используемых для планирования. Постоянное представление реальной ситуации в цеху. Определение отклонений между планом и реальностью. Определение причин отклонения от плана, формируемого применяемой системой планирования. Определение достоверности прогноза. Ниже описаны текущие подходы в уровне техники с учетом упомянутых требований. Во второй части статьи описан подход к выявлению отклонений между запланированными и реальными производственными процессами. Затем вводится показатель качества прогноза систем детального планирования.

3. Современное состояние

3.1. Самооптимизация

Требование постоянной адаптации также рассматривается в рамках подхода самооптимизации. Принцип самооптимизации апробирован для работы в сложной среде производственных процессов [7]. Самооптимизация состоит из трех действий: Анализ текущей ситуации, допределение целей системы адаптация поведение системы. Современные концепции самооптимизации производственных процессов можно свести к трем исходным подходам: фрактальная компания, колониальная производственная система и бионическая производственная система. Фрактальная фабрика определяется несколькими фракталами, которые представляют собой независимо действующие производственные единицы. Фракталы можно

описать как самоподобные, самоорганизующиеся и самооптимизирующиеся. Каждый фрактал следует своей цели, которая заключается в системе целей. Фракталы связаны динамической и саморегулирующейся сетью.

Холонические производственные системы (HMS) состоят из холонов. Холоны — это автономные и кооперативные строительные блоки, которые переносят и обрабатывают информацию или физические объекты, организованные в рамках системы сотрудничества для достижения общего результата, цель, так называемая «холархия».

Бионические подходы воспроизводят структуру живого организма. Производственная система иерархически состоит из нескольких компонентов. Кроме того, концепции дифференцировки и пролиферации клеток, генетической функции, эволюции и самоорганизации, а также ферментативной функции и автономной распределенной системы отражены в так называемом жизненном программном обеспечении.

Эти подходы применимы к организационной структуре производственных систем. В рамках этих подходов решения принимаются на основе текущих данных с производства. Поскольку крайне децентрализованные подходы не позволяют предсказать их будущее поведение, они скорее реагируют на текущие события, чем планируют на перспективу

3.2. Автоматическое создание модели

Подходом к удовлетворению потребности в постоянной корректировке моделей, используемых для планирования и представления реальной ситуации в цехе, является применение автоматически генерируемых моделей производственной системы. Эта так называемая автоматическая генерация моделей (AMG) была разработана для ускорения процесса генерации и повышения точности имитационных моделей [8]. Далее рассматриваются четыре подхода.

Селке описывает решение для автоматического создания моделей на основе анализа применяемых стратегий и операции касательно планирования, последовательность действий, а также определение размеров партии в производстве и логистике. Подход в основном фокусируется на разработке анализа стратегии Плановые данные, созданные системами детального планирования, не учитываются, и этот подход непригоден для повседневного использования при планировании и контроле производства.

Хорн разрабатывает систему планирования и последовательности, которая основана на оптимизации на основе моделирования в сочетании с AMG. Имитационные модели автоматически генерируются из мини-шаблонов и параметризуются данными из базы данных репозитория моделирования. Эта база данных заполняется базами данных, связанными с производством (ERP, MES). Имитационные модели создаются автоматически на основе текущих данных, предоставляемых прикладными ИТ-системами. Адаптация моделей в зависимости от выявленных отклонений во времени процесса не происходит.

Пфайффер разрабатывает систему моделирования с использованием AMG и фокусируется на анализе чувствительности и автономной проверке расписаний, а также на обработке возмущений на уровне предприятия. Соответствующие данные извлекаются из MES и дополняются информацией из системы ERP. Помимо сильно настраиваемой генерации модели, соответствующей ИТ-структуре предприятия, Pfeiffer реализует несколько правил диспетчеризации и логики загрузки. Сгенерированная таким образом модель используется для оценки новых правил планирования с учетом незавершенного производства, размеров очередей и выходных данных. Этот подход рассматривает план данные и оценивает их с помощью модели моделирования, созданной с использованием данных обратной связи. Однако сравнение смоделированных и реальных событий выполняется только в отношении конкретной пропускной способности. Перенос результатов сравнения на будущее планирование не поясняется. Карр разрабатывает

объектно-ориентированный AMG, который обеспечивает модель фабрики в реальном времени. Он основан на эталонной модели и адаптируемой библиотеке компонентов. Генератор моделей подходит для краткосрочных, среднесрочных и долгосрочных задач. Пользователь может влиять на создание модели на трех разных уровнях, при этом первый слой используется для создания сценариев моделирования. Второй и третий уровни необходимы для адаптации модели к структуре предприятия. Однако в этом подходе по-прежнему отсутствует проверка входных данных, и его необходимо адаптировать к задачам планирования с временным горизонтом менее недели. Этот подход учитывает динамическое поведение производства, постоянно обновляя реальный сценарий. Однако любая настройка эталонной модели должна выполняться пользователем, обладающим навыками программирования.

В рамках представленных подходов для AMG созданные модели сравниваются с реальными производственными процессами для выявления отклонений. Однако делается это только на основе конкретных показателей и в основном посредством визуального выравнивания. Результирующие последствия отклонений для будущих поколений моделей не учитываются ни одним из подходов.

4. Отклонение между плановыми и реальными производственными процессами

Описанные подходы не отвечают всем заявленным в начале требованиям, не проводится сопоставление задуманного и реальности. Поэтому определение причин отклонения от плана, сгенерированного прикладной ИТ-системой, определение отклонений между планом и реальностью и определение качества планирования рассматриваются далее более подробно.

4.1. Причины отклонений

В данной работе отклонение определяется как разница между прогнозируемым параметром и его истинным значением. Планирование осуществляется с помощью систем детального планирования, и истинная стоимость может быть извлечена из данных обратной связи с производством. Сравнение обоих определяет отклонение представлена на рисунке 1.

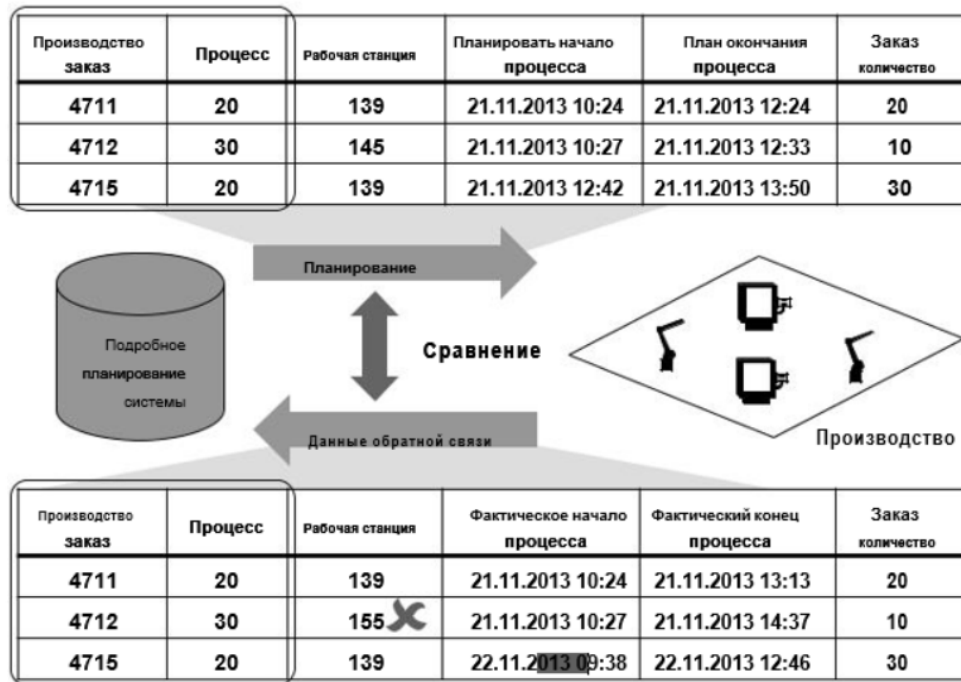


Рисунок 1 – Сравнение планирования и реальности

На производственные процессы могут влиять как экзогенные, так и эндогенные эффекты, такие как отсутствие материала или нарушение работы инструментов и машин. Эти эффекты потенциально могут вызвать отклонения между планированием и реальностью. Эти отклонения названы следующим образом и продемонстрированы на рисунке 2:

- рабочая станция процесса;
- шаг процесса выполняется на другом рабочем месте, чем указано в плане работы;
- дата процесса (даты начала или окончания);
- шаг процесса начинается раньше или позже даты, указанной в планировании.

Вывод процесса, уменьшение или увеличение выхода процесса по сравнению планом.

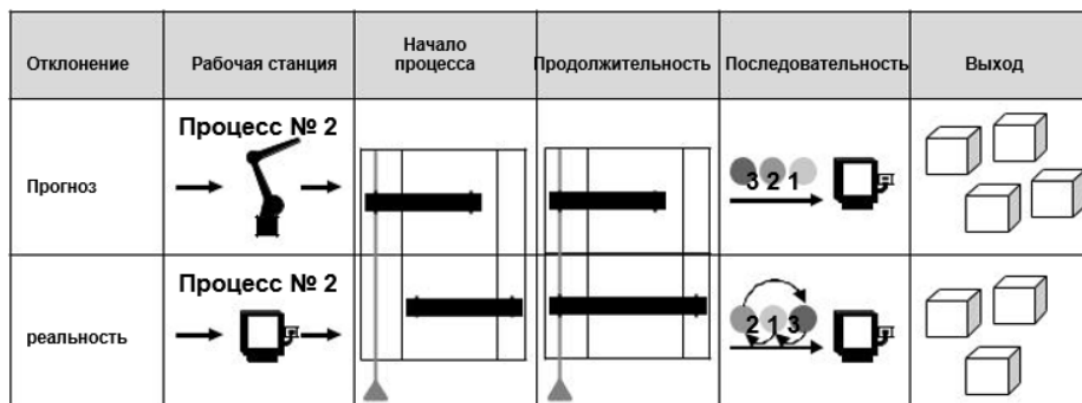


Рисунок 2 – Отклонения в технологических процессах

Эти отклонения происходят из-за проблем, которые приведены в табл.

1. Например, другая рабочая станция может быть результатом замены машины.

Таблица 1.

Причины отклонений

№	Причина нарушения	Пример отклонения
1	Поломка машины (станка)	Технический дефект
2	Отсутствие сотрудника	Больничный
4	Изменение технологических карт	Дефицит продукта
5	Срочные заказы	Оставшееся время до запланированной даты
6	Переоценка или недооценка	Расчётное значение
7	Изменение последовательности выполнения заказа	Оптимизация времени наладки
8	Нехватка материалов	Проблемы с транспортировкой
9	Изменение срока выполнения (задержка или опережение)	Заказчик изменил желаемую дату
10	Изменение количества в заказе	Клиент
11	Переделка	Проблема с качеством
12	Брак	Проблема с контролем учета

4.2. Требования к анализу

Наиболее важным шагом для определения отклонений является сохранение плановых данных. Обычно текущее планирование перезаписывается обновленным планом после каждого процесса планирования в системе точного планирования. Таким образом, первоначальный план не подлежит утилизации. В рамках исследовательского проекта ProSense включено хранение ежедневных расписаний. Таким образом, доступна история данных всех процессов планирования. Частота хранения определяется периодичностью системы планирования, которая обычно составляет ежедневно.

Для управления динамическими системами, такими как производственные системы, необходим контур управления. Для обеспечения производства желаемого товара в нужное время требуются определенные механизмы контроля, что показано на рисунке 3. Различные ИТ-системы (ERP-система и MES) являются частью контура управления и используют данные, которые генерируются в производство, чтобы справиться со сложными производственными процессами. Чтобы сравнить планирование и реальность, эти данные обратной связи должны быть сохранены. Сравнение ежедневных графиков и соответствующих данных обратной связи имеет смысл только за определенный период. Рассмотрение только одного дня слишком мало, а месяца слишком долго из-за высокой динамики производственных процессов.

План включает запланированное начало, запланированную продолжительность (разницу между запланированным окончанием и запланированным началом) и запланированную сумму для каждой операции всех запланированных заданий. Данные обратной связи также содержат эту информацию, которая позволяет проводить сравнение на основе номера заказа и операции. На это указывает пунктирная линия на рисунке 1, которой отмечены необходимые исходные данные для сравнения.



Рисунок 3 – Контур управления для оценки прогнозной надежности системы производства

5. Оценка планирования

Объяснив, как можно определить отклонения и какие конкретные приспособления могут предотвратить отклонения при планировании в будущем, в следующем разделе рассказывается, как можно оценить планирование ИТ-систем. Прогнозы даются во многих областях, таких как отчеты о погоде и банковское дело. Оценка этих прогнозов с точки зрения их истинности является фундаментальной проблемой для всех пользователей. Важно знать характерные отклонения прогнозов, чтобы исключить систематические ошибки при дальнейшем планировании. Для этой цели абсолютное рассмотрение оказывается бесполезным. Более точную альтернативу предлагают категориальные и непрерывные параметры. Категориальные переменные описывают возникновение или не наступление события, например, наличие заказа в очереди машины да или нет. Непрерывные переменные имеют определенное значение, такие как отклонение от продолжительности 4 минуты. Все непрерывные переменные также могут быть классифицированы путем определения определенных пороговых значений [9].

Далее в качестве примера представлены категориальная и непрерывная переменная. Вероятность обнаружения как категориальная переменная

измеряет качество прогноза производственные графики (формула 1). Поэтому каждая позиция заказа учитывается в плане и данных обратной связи с интервалом в одну неделю. это количество заказов, которые наблюдались и прогнозировались на одной и той же рабочей станции в один и тот же день. это количество ордеров, которые наблюдались, но не были предсказаны

$$POD = \frac{A}{A + C} \quad (1)$$

Функции расстояния, подобные уравнению евклидова расстояния (формула 2), являются непрерывными переменными, которые количественно определяют несходство пар объектов, например, отклонение запланированного запуска от реального запуска каждого процесса на каждой рабочей станции. В таблице 4 в качестве примера представлены результаты для 3 рабочих мест компании с единичным и мелкосерийным производством [10].

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y - x)^2} \quad (2)$$

Таблица 2.

Евклидово расстояние различных рабочих мест

Рабочая станция	Евклидово расстояние
139	5,39
155	2,00
145	107,25

По этим параметрам можно определить критическую машину. В данном примере, например, рабочая станция 145 является критической из-за ее большого расстояния между планом и реальностью. Идея киберфизических систем состоит в том, чтобы последовательно собирать и связывать различные данные (например, ODA и MDA) с агрегированной информацией с более

высоким информационным содержанием (например, качество планирования) для поддержки процесса принятия решений планировщиками производства. Из-за большого объема данных связывание не может быть выполнено планировщиком, а должно выполняться автоматически соответствующими ИТ-системами. Представленный подход проясняет, как проблемная машина идентифицируется по евклидову расстоянию от массы всех машин [11]. Принимая во внимание другие источники данных, например, список срочных заказов и список неисправностей, можно детализировать причины отклонений этой машины. С помощью этой информации специалист по планированию производства может принять соответствующие меры для обеспечения надежного производственного графика в будущем [12].

6. Заключение

В данной статье представлена методика оценки прогнозной надежности систем производственного планирования. Сначала определяется термин «отклонение» и указываются причины отклонения производственного графика от реальности, происходящей в цехе. Кроме того, представлен метод определения четырех соответствующих отклонений. В последней части статьи представлены методы оценки надежности систем планирования производства.

Хотя представленный подход показывает, как можно повысить надежность производственных графиков, он также содержит ряд рисков и ограничений: данные обратной связи, служащие основой для анализа, часто содержат несоответствия. Кроме того, необходимы дальнейшие исследования в нескольких направлениях.

Описанная методика оценки прогнозной надежности систем производственного планирования была применена к одной компании. Дальнейшая проверка методологии должна быть сделана приложением в других компаниях. Кроме того, необходимо проанализировать, какие категориальные и непрерывные параметры наиболее перспективны с точки зрения прогнозной оценки. Кроме того, меры, которые могут быть получены

из выявленных отклонений, должны быть дополнительно разработаны. Тем не менее, методология представляется вкладом в дальнейшее совершенствование.

Использованные источники:

1. Эль-Мараги Х., Аль-Геддави Т., Азаб А., Эль-Мараги В. Изменения в производстве – исследования и промышленные проблемы. В: ElMaraghy HA, редактор. Обеспечение конкурентоспособности производства и экономической устойчивости: Материалы 4-й Международной конференции по изменчивому, гибкому, реконфигурируемому и виртуальному производству (CARV2011), Монреаль, Канада, 3–5 октября 2018 г. Берлин: Springer; 2018, с. 2–9.
2. Wiendahl H, ElMaraghy HA, Nyhuis P, Zäh MF, Wiendahl H, Duffie N et al. Изменяемое производство - классификация, конструкция и эксплуатация. Каналы CIRP - Технология производства 2017; 56 (2): 783–809.
3. Эль-Мараги HA. Изменяемые и реконфигурируемые производственные системы. Лондон: Спрингер; 2019.
4. Зах М.Ф., Рейнхарт Г., Остгате М., Гейгер Ф., Лау К. Целостный подход к когнитивному контролю производственных систем. Доп. англ. Информ 2010;24(3):300–7.
5. Gausemeier J, Frank U, Donoth J, Kahl S. Метод спецификации для описания самооптимизирующихся мехатронных систем. Res Eng Design 2009; 20 (4): 201–23.
6. Окино Н. Бионические производственные системы: подход на основе моделирования. В: Материалы 18-й ежегодной международной конференции САМ-I; 2016, с. 485–492.
7. Фаулер Дж. В., Роуз О. Большие проблемы в моделировании и моделировании сложных производственных систем. МОДЕЛИРОВАНИЕ:

Труды Международного общества моделирования и моделирования 2014; 80 (9): 469–76.

8. Пфайффер А., Кадар Б., Сатмари М., Попович Г., Вен З., Моностори Л. Самостоятельный инструмент моделирования для ежедневной поддержки принятия решений в управлении производством. В: Материалы Международного семинара по моделированию и прикладному моделированию MAS 2019; 2019, с. 246–254.

9. Бахети Р., Гилл Х. Киберфизические системы. В: Самад Т., Аннасвами А., редакторы. Влияние технологии управления; 2011, с. 161–166.

10. Ли Э.А. Киберфизические системы: проблемы проектирования. В: 11-й международный симпозиум IEEE по объектно-ориентированным распределенным вычислениям в реальном времени (ISORC); 2008, с. 363–369.

11. Вайгерт Г., Вернер С. Стратегии объединения данных в производственных средах. В: Материалы 28-го Международного весеннего семинара по электронным технологиям: решение проблем прогресса электронных технологий. Пискатауэй, Нью-Джерси: IEEE; 2005, с. 278–282.

12. Вайгерт Г., Вернер С. Стратегии объединения данных в производственных средах. В: Материалы 28-го Международного весеннего семинара по электронным технологиям: решение проблем прогресса электронных технологий. Пискатауэй, Нью-Джерси: IEEE; 2015, с. 278–282.