

## Введение

В процессе автоматизации производства, при расчете расписания работы сотрудников либо прогнозировании сроков выполнения заказов, существует необходимость привязки абстрактных расчетов, базирующихся на времени выполнения операций, к конкретно заданному календарю производственной площадки, который учитывает выходные дни, праздничные и шаблонные смены занятых сотрудников. Данный шаг позволяет оценить применимость составленного расписания в данных условиях и оценить реальные сроки выполнения заказа.

## Содержание

Введение .....	1
1 Обзорная часть .....	3
1.1 Индустрия 4.0.....	3
1.2 Обзор существующих решений .....	4
1.2.1 OpenSource решения.....	4
1.2.2 Коммерческие решения .....	4
1.3 Постановка задачи .....	4
2 Система планирования и прогнозирования .....	5
2.1 Архитектура СПП.....	5
2.2 Подсистема имитационного моделирования .....	5
2.3 Модель ресурса сборочной линии.....	5
2.4 Модуль отображения логического времени на физическое ..	7
3 Организация консистентного хранилища данных .....	13
Заключение .....	14
Список использованных источников .....	15

## 1.1 Индустрия 4.0

Индустрия 4.0 - прогнозируемое массовое внедрение киберфизических систем в промышленность и повседневный быт человека. Под киберфизической системой (CPS - cyber-physical system) подразумевается взаимодействие цифровых, аналоговых, физических и человеческих компонентов, разработанных для функционирования посредством интегрированной физики и логики или другими словами: киберфизические системы - это интеллектуальные системы, которые состоят из сильно взаимосвязанных сетей физических и вычислительных компонентов. [3]

Появилось понятие индустрии 4.0 во время ганноверской выставки 2011 года как обозначение стратегического плана развития и поддержания конкурентоспособности немецкой экономики, предусматривающий совершение прорыва в области информационных технологий для промышленности. Также считается, что данное направление знаменует собой четвертую промышленную революцию. [2]

Если рассматривать производство, на что и нацелена индустрия 4.0, то, используя определение данное выше, процесс внедрения киберфизической системы разделяется на внедрение физической части (например датчики, передающие данные посредством сети Интернет) и вычислительную - систему планирования производства.

Система планирования и прогнозирования (СПП) обеспечивает расчет объемно-календарного и оперативного планов, автоматизированный подбор поставщиков, автоматизированный перерасчет планов по фактическим результатам деятельности, направленный на минимизацию временных и финансовых потерь.

Объемно-календарное планирование - задание для каждой производственной площадки на заданный интервал времени, представляющее собой план-график, на котором каждому интервалу соответствует номенклатура и объем подлежащих к производству

изделий. [1]

Оперативное планирование - составление плана, согласно которому выполняется привязка каждой операции для каждой единицы продукции к временным интервалам, конкретному работнику и конкретным производственным средствам. [1]

## 1.2 Обзор существующих решений

Пара слов

### 1.2.1 OpenSource решения

FrePPLe, Odoo, qcadoo? По презентации

### 1.2.2 Коммерческие решения

Нужно найти

## 1.3 Постановка задачи

Целью данной работы является разработка системных компонент для СПП таких как:

- модуль ресурса сборочной линии;
- модуль отображения логического времени на физическое;
- организация консистентного хранилища данных.

## 2 Система планирования и прогнозирования

### 2.1 Архитектура СПП

схема и описание

### 2.2 Подсистема имитационного моделирования

схема и описание

### 2.3 Модель ресурса сборочной линии

В процессе создания оперативного плана, для получения адекватной оценки времени выполнения операции (набора операций) СПП необходимо ввести систему ограничений, которая будет отражать как ресурс, участвующий в операции может влиять на её время выполнения. Это привело к созданию модели ресурсов накладывающей ограничения на выбор операции для расчета ядром имитационного моделирования.

Каждый ресурс представляет из себя структуру данных, которая должна реализовывать три метода:

- привязка операции к ресурсу;
- метод, осуществляющий проверку возможности выполнения данной операции ресурсом;
- метод, осуществляющий логику работы и в котором происходит изменение состояния данного ресурса.

Привязка осуществляется в начале работы системы, что позволяет ресурсам манипулировать ядром имитационного моделирования разрешая или запрещая выбирать привязанные к ним операции для расчета, что может повлечь за собой изменение последовательности выполнения операций и, соответственно, расчетного времени выполнения набора операций.

Проверка производится во время работы системы и именно здесь происходит отбор операций в соответствии с внутренним состоянием

ресурса.

Логика осуществляется при выборке операции ядром и для каждой вызывается два раза: чтобы отметить состояние ресурса в начале и в конце расчета операции.

Одним из ресурсов является ресурс сборочной линии, который описывает несколько однотипных, то есть с одинаковым числом рабочих постов (заготовко-места, оснащенные соответствующим технологическим оборудованием и предназначенными для технического воздействия на заготовку для осуществления фиксированного перечня операций), физических сборочных линий. Объединение нескольких сборочных линий в одну обуславливается упрощением взаимодействия с ядром имитационного моделирования, а также возможностью инкапсуляции реализации распределения наборов операций по сборочным линиям внутри ресурса.

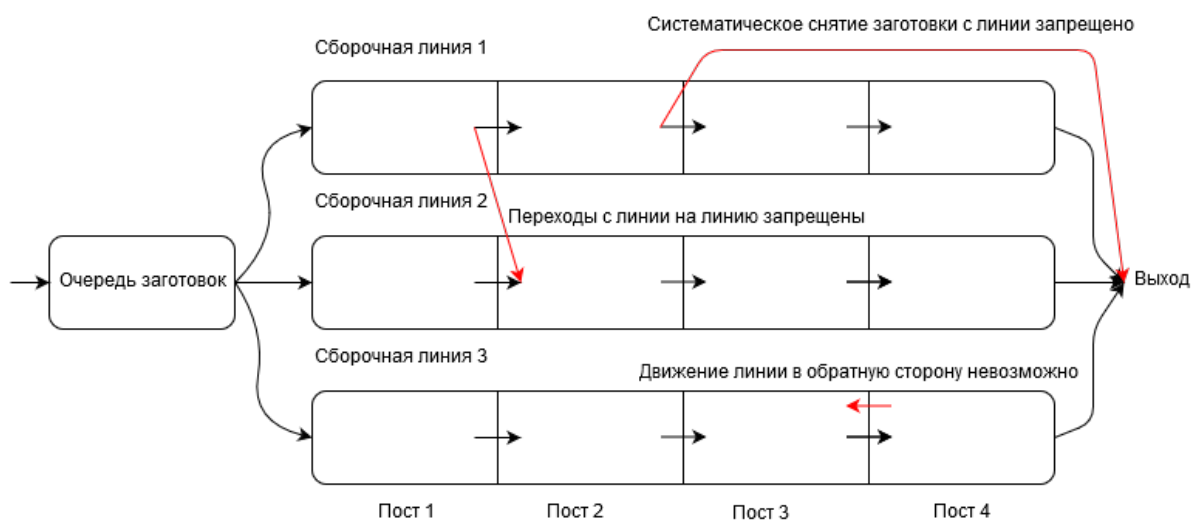


Рисунок 2.1 — Схема ресурса с вариантами перемещения заготовки внутри

Главным предназначением данного ресурса является ограничение перемещения продукции (над которой производится набор операций). С одной стороны ограничивается перемещение между сборочными линиями: к какой продукт был привязан, на той он и останется до окончания выполнения всех операций, которые относятся к данному продукту и привязаны к данной сборочной линии. С другой - ограничивается и

синхронизируется перемещение продукции между рабочими постами: продукт должен двигаться последовательно с поста на пост (см. 2.1).

Основной сложностью реализации данного модуля является предложенная система ресурсов, которая является универсальной и позволяет реализовать логику любого ресурса, при этом усложняя реализацию каждого из них. В данной реализации ресурса каждая из линий характеризуется временем начала текущего рабочего такта сборочной линии (время, в течение, которого заготовка пребывает на посту), текущим или максимальным временем рабочего такта и набором рабочих постов, каждый из которых описывается состоянием (выполняются работы, простаивает), временной меткой данного поста и продукцией, которая на данный момент находится на нем. Также ресурс имеет информацию о привязке каждой операции каждой единицы продукции к какому-либо рабочему посту (без привязки к конкретной линии) сборочной линии, что дает возможность динамически распределять продукцию между линиями.

Во время работы ядра имитационного моделирования на каждой итерации проверяется наличие привязки ресурсов ко всем доступным для выбора операциям и, при наличии таковых, осуществляется опрос каждого ресурса на то, накладывает ли он какое-либо ограничение на выбор данной операции в текущую итерацию.

блок-схема ресурсов

## 2.4 Модуль отображения логического времени на физическое

формулировка

В соответствии с архитектурой, представленной ранее, расчет выполнения операции (или набора операций) производится в логическом времени, т. е. во времени отсчитываемом от нуля. Данное решение обуславливает необходимость в отображении (соответствие между элементами двух множеств) логического времени на физическое, которое используется в повседневной жизни. Одной из главных сложностей, возникающих при этом, является неоднородность рабочего времени, которая проявляется в рабочем графике (чередование интервалов ра-

бочего и нерабочего времени), наличии выходных, перенесенных дней. Другой сложностью является наличие в системе 'обратного расчета', при котором планирование ведется от даты 'дедлайна' (дата или время, к которому должна быть выполнена задача), что накладывает некоторые ограничения на реализацию данной компоненты.

Для отображения логического времени на физическое был предложен итеративный процесс, который осуществляет 'переход' к необходимому времени путем последовательного перебора.

Как было сказано ранее, из-за того, что рабочее время является дискретным, то мы не имеем возможности просуммировать начальную дату и значение поданного логического времени. Это ведет к тому, что необходимо синхронизировать логическое и физическое время, и в данной компоненте это достигается путем последовательного периодического отображения конкретного логического времени на физическое (см. 2.2). Это подразумевает под собой наличие двух массивов чисел или 'осей': оси логического времени, которая начинается с нуля и единица которой соответствует одной секунде (необходимости в более точном отображении нет) и оси физического времени, на которой может быть отложено любая дата физического времени, отсчет которой начинается 1 января 1970 года 00:00:00 (эпоха Unix). Особенностью оси физического времени является наличие на ней 'выколотых' промежутков времени, в которые работа не ведется и операции не выполняются и следовательно об этих промежутках системе необходимо знать, и они передаются системе в виде структуры данных, которая далее будет называться 'конфигурацией модуля'.

Входными данными для модуля являются:

- дата с которой необходимо начинать отсчет;
- логическое время, которого необходимо достигнуть;
- конфигурация модуля.

Дата является точкой на физической оси, на которую будет отображаться нуль логической. Представляет собой количество секунд, прошедшее с начала эпохи Unix.



неправильный  
термин

Логическое время - количество секунд, которое должно быть  
но на логической оси. В силу дискретности физической оси,  
каждой логической точке сопоставляется отрезок на физической оси,  
сопоставляется пара чисел - границ данного отрезка.

Конфигурация модуля - вспомогательные данные используемые для определения модулем какие промежутки необходимо пропускать в процессе работы. Состоит из данных о рабочем графике занятого персонала (интервалы рабочего времени), шаблонном расписании на неделю (например, суббота, воскресенье - выходные, пятница - 'короткий' день, остальные - стандартные рабочие дни) и набор информации о датах, которые являются днями-исключениями и соответствующей информацией о графике работы в данные дни.

Выходными данными данного модуля является пара чисел, характеризующие начало и конец отрезка которые отображаются на логическую ось в точке, значение которой равно входному логическому времени.

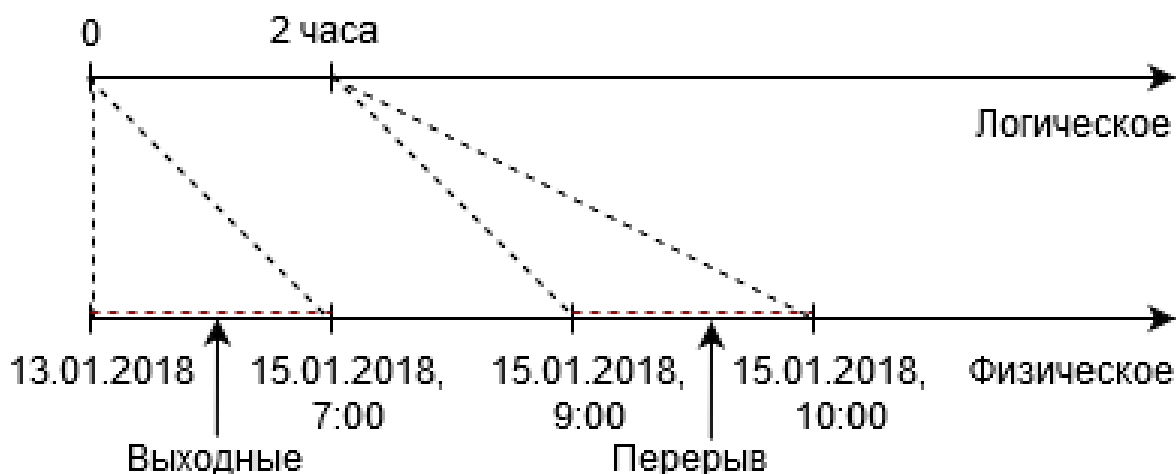


Рисунок 2.2 — Пример отображения оси логического на ось физического времени

После запуска, модуль получает параметры и совершает проверку последних на корректность и непротиворечивость (например, если два дня имеют пересечения временных промежутков то они противоречивы, ведь ресурс не может работать одновременно в двух сменах) как в

рамках смен одного так соседних дней. Далее производится определение

нужно бо-  
лее емкое  
понятие

а работы: прямой, обратный расчет или проверка времени:

— прямой расчет - задается дата начала отсчета, логическое время и расчет ведется до нахождения даты окончания работ (см 2.3);

— обратный расчет - задается дата дедлайна, логическое время и расчет ведется до нахождения времени начала работ(см 2.4);

— проверка времени - задается дата и логическое время равное нулю, что запускает оба предыдущих расчета пока не будет найдено первое ненулевое время в обоих направлениях от даты начала расчета(см 2.5).

Выбрав режим работы сбрасывается счетчик текущего логического времени до нуля и счетчик текущего физического времени до стартовой даты. Затем итеративно, пока текущее логическое время не превысит необходимое производится поиск следующей даты. Алгоритмически, поиск даты работает следующим образом:

1) определяются интервалы рабочих смен относящихся к текущему дню:

— при отсутствии таковых, к текущей дате прибавляется один день и затем возврат к п.1.

2) отсортированные в порядке возрастания, интервалы последовательно перебираются и их длительности прибавляются к текущему логическому и физическому времени:

— при превышении текущим логическим временем необходимого, переход к п.3;

— если все интервалы были просуммированы, но необходимое логическое время не превышено - переход к п.1;

3) вычитается из физического времени разность текущего и необходимого логического времени, при этом сохраняя данное значение

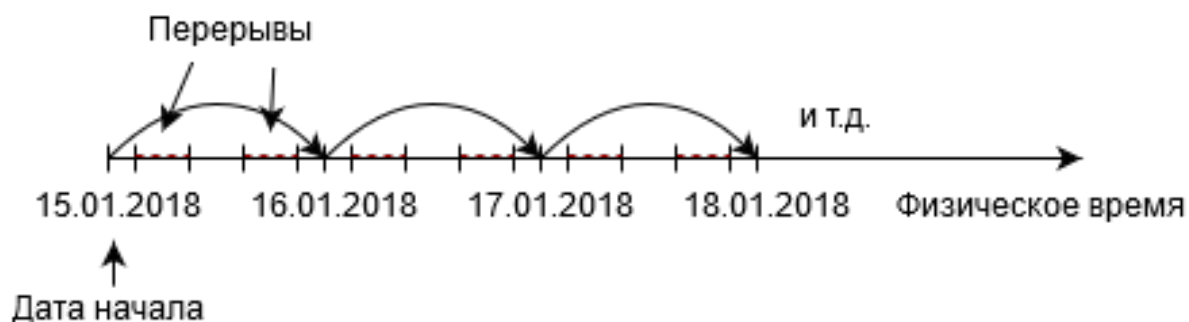


Рисунок 2.3 — Схема прямого расчета



Рисунок 2.4 — Схема обратного расчета

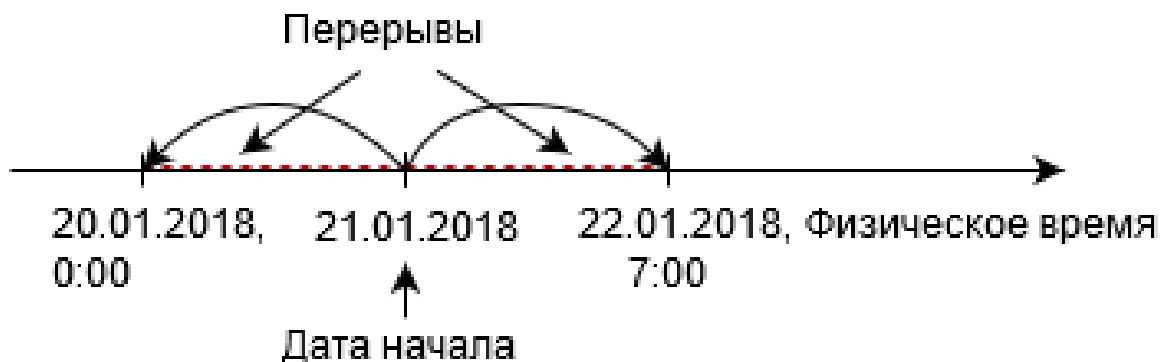


Рисунок 2.5 — Схема проверки времени

как левую (правую при обратном расчете) и продолжается расчет для выявления правой (левой) границы промежутка

Определение интервалов рабочего времени происходит взятием даты из текущего физического времени, после чего начинается определение является ли данная дата одной из перенесенных после чего есть два варианта развития ситуации:

- дата является перенесенным днем и модуль получает информацию о расписании которое нужно применить;

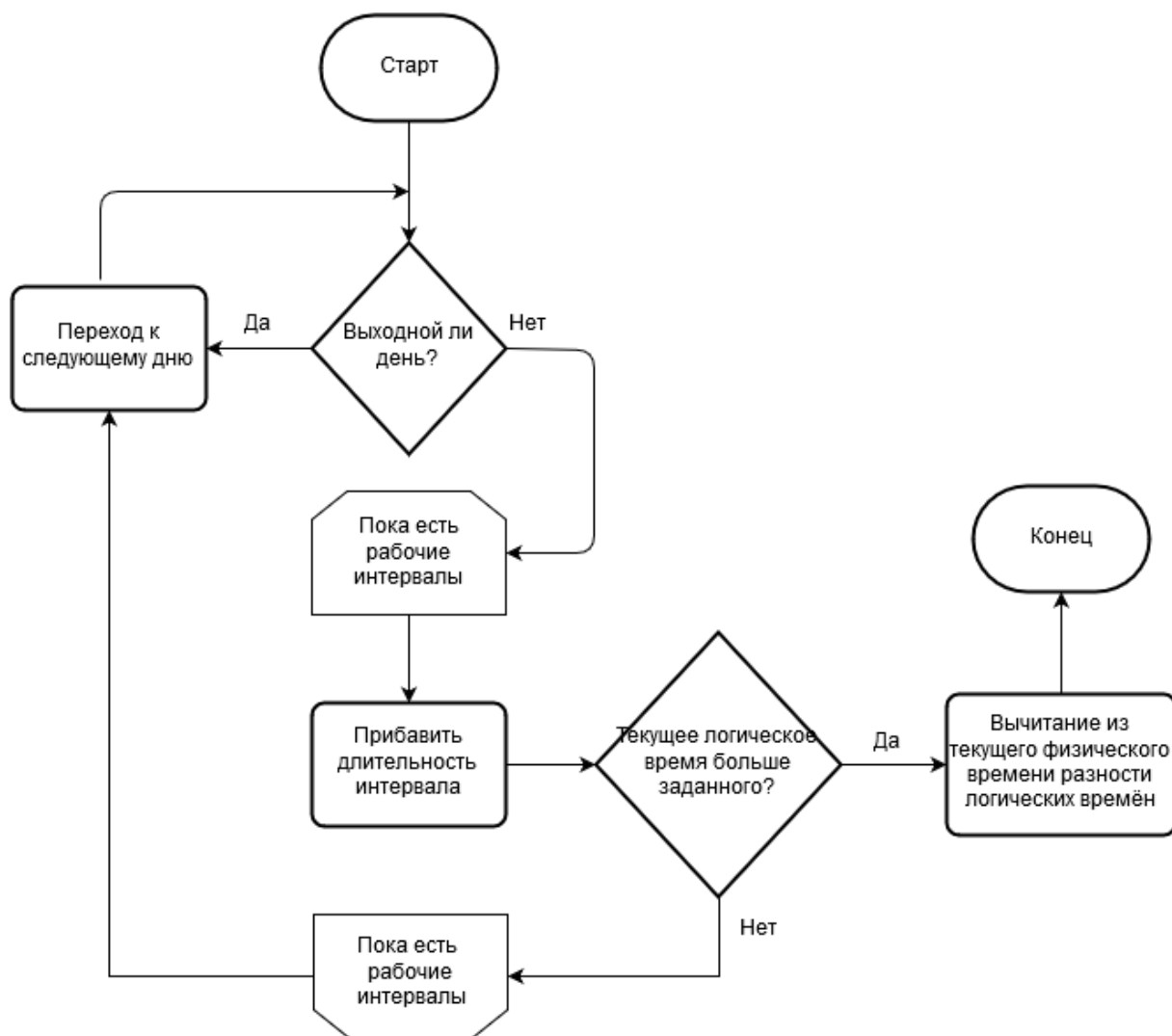


Рисунок 2.6 — Блок-схема модуля

— дата не является перенесенным днем и получение информации происходит исходя из того, каким днем недели является данная дата.

пояснение трудностей

схема трудности обратного расчета

### 3 Организация консистентного хранилища данных

## Заключение

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кремлев А.С., Маргун А.А., Юрьева Р.А., Власов С.М., Васильков С.Д., Пенской А.В., Николаев Н.А., Слита О.В., Жиленков А.А., Вахвиянова П.Д., Волков А.В., Коновалов Д.Е., Добриборщ Д.Э., Зименко К.А., Кирсанова А.С., Базылев Д.Н., Гребнев И.С., Болдырев И.П., Евдокимов П.С., Зимин А.Ю., Иванов В.О., Черных А.В., Халанчук Р.А., Анисимов И.В., Тулькова И.А., Лопатский А.В., Июдина О.С., Гурин Д.А., Алексанин С.А., Малкина Е.А., Иващенко А.А., Кукин Н.А., Куприенко А.М., Леонтьев В.М., Литвяков А.С., Малютина Е.В., Попова В.О., Сурский П.В., Халанчук Р.А., Уваров М.М., Якобсон А.К., Андрианов Д.И., Анспук Д.А., Альтшулер Е.В., Телешман А.И., Николаев П.С., Пронин К.В., Мухина И.В., Вражевский С.А., Голубей А.А., Дунаев В.И., Матвеев А.А., Медведевский Е.В., Круглова А.И., Корепанов П.Ю., Колеватова М.В., Кердоль З.О., Иголкин В.А., Седунов Д.Ю., Веровенко В.Ю., Вороненкова Ю.В., Бормотов А.В., and Белявская И.Н. Интеллектуальные технологии цифрового производства. Technical report, 2018.

2. Новиков Олег. ЧТО ТАКОЕ ИНДУСТРИЯ 4.0? ЦИФРЫ И ФАКТЫ, 2015.

3. Thomas P. Roth, Yuyin Song, Martin J. Burns, Himanshu Neema, William Emfinger, and Janos Sztipanovits. Cyber-physical system development environment for energy applications, 2017.