Функциональные характеристики «Программа расчета вариантов плана производства для группы взаимозаменяемых машин и общей оснастки с оптимизацией по срокам исполнения заказов и издержкам»

1. Общая характеристика решения

Решение работает на платформе системы «Галактика АММ» (https://galaktika.ru/amm) и выполняет расчет вариантов производственного расписания с учетом ограничений по мощности оборудования, наличия и графика поставок сырья и материалов, наличия производственного персонала.

Решение позволяет найти оптимальный вариант плана с соблюдением требуемых сроков выпуска готовой продукции, минимизацией издержек на переналадку оборудования, не нарушая синхронность производственных цепочек заказов.

Решение предназначено для мелкосерийного и среднесерийного производства с большим ассортиментом продукции для выпуска которого требуется выполнять переналадки основного оборудования.

2. Алгоритмы расчета

Основа решения – это набор алгоритмов, выполняющих расчет параметров заказов, поиск оптимальных вариантов, формирующих вспомогательные данные. Основные алгоритмы в составе решения:

1) Расчет количества к производству готовой продукции и расчет количества к производству деталей и сборочных единиц с учетом:
    - портфеля заказов;
    - остатков на складах;
    - норм на страховые запасы и размеры партий;
    - вариантов упаковки;
    - логистики, в том числе складкой инфраструктуры, норм времени на транспортировку;
    - и др. параметров.
2) Расчет ключевого показателя соблюдения сроков выпуска готовой продукции в плане отгрузки. Основан на понятии напряженность производства, которая рассчитывается с учетом общего запаса времени на выпуск группы заказов на изготовление деталей и сборочных единиц.
3) Особое внимание уделяется формуле расчета издержек, которая может иметь несколько составляющих в зависимости от вида оборудования и технологического процесса. Основные составляющие издержек:
    - трудозатраты обслуживающего персонала на выполнение работ по переналадке оборудования. Работы могут включать перенастройку основного оборудования, смену оснастки, переключение с одного вида сырья на другое, перепрограммирование и другие виды работ.
    - время простоя оборудования при выполнении переналадки и других сопутствующих работ.
    - затраты на сырье и материалы могут включать расходование вспомогательных материалов на выполнение переналадки и потери основного сырья при переходе с одного вида продукции на другой.

4) Алгоритм отбора вариантов плана, предлагаемых системой построен на математическом методе ветвей и границ, решающего задачу поиска оптимальных вариантов.
5) Алгоритм формирования этапов (последовательности) расчета с учетом групп взаимозаменяемого оборудования, состава выпускаемой продукции и технологий изготовления.
6) Набор алгоритмов для каждой группы взаимозаменяемого оборудования учитывающих параметры оборудования и оснастки входящих в группу с индивидуальными формулами расчета издержек.
7) Набор алгоритмов обеспечивающих синхронизацию производственных цепочек заказов на изготовление деталей, выпускаемых на разных группах оборудования под технологические операции сборки с учетом требуемых сроков сборки.
8) Алгоритм подбора спецификаций и технологий изготовления с учетом:
    - остатков сырья и материалов на складах и графика поставок;
    - стоимости сырья и материалов;
    - вариантов совмести оборудования и оснастки;
    - производительности оборудования;
    - и других параметров.

3. Используемые ограничения и нормативно-справочная информация

При расчете производственного расписания используется три ограничения:

1) *«Мощность оборудования»*, учитываются следующие параметры:
    a. Загрузка оборудования
        - количество оборудования и оснастки;
        - фонд рабочего времени (графики работы, ППР и т.п.);
        - производительность оборудования.
    b. Технические параметры и нормы
        - варианты совместимости оборудования и оснастки;
        - варианты и длительность переналадок оборудования;
        - количество гнезд оборудования и оснастки.
    c. Технологические нормы и нормы эффективности
        - размеры партий заказов на производство;
        - последовательность выполнение операций (типы связей, технологические задержки);
        - варианты технологий изготовления.
    d. Текущее состояние оборудования
        - установленная оснастка;
        - загруженное в дозатор сырье;
        - установленные настройки с учетом последней выпущенной номенклатуры.
2) *«Наличие материалов»* (сырья, покупных комплектующих), учитываются следующие параметры:

a. График потребления сырья и материалов на план производства;

b. Фактические остатки сырья и материалов на складах;

c. График поступления и выбытия сырья и комплектующих;

d. Время транспортировки.

3) *«Наличие производственного персонала»*, учитываются следующие параметры:

a. Потребность в производственном персонале в смену на план производства;

b. Численность персонала в смену на период планирования.

Для реализации учета указанных ограничений в системе предусмотрен набор справочников для ведения производственных норм, данных об используемых ресурсах и продукции. В рамках Решения расширен состав справочников системы «Галактика АММ», для существующих справочников добавлены новые реквизиты, необходимые для выполнения расчетов в алгоритмах. Основные справочники и реквизиты, используемые в алгоритмах:

1) Организационная структура предприятия – справочник содержит список цехов и складов, информацию о приоритетах складов, принадлежность склада к цеху и площадке.

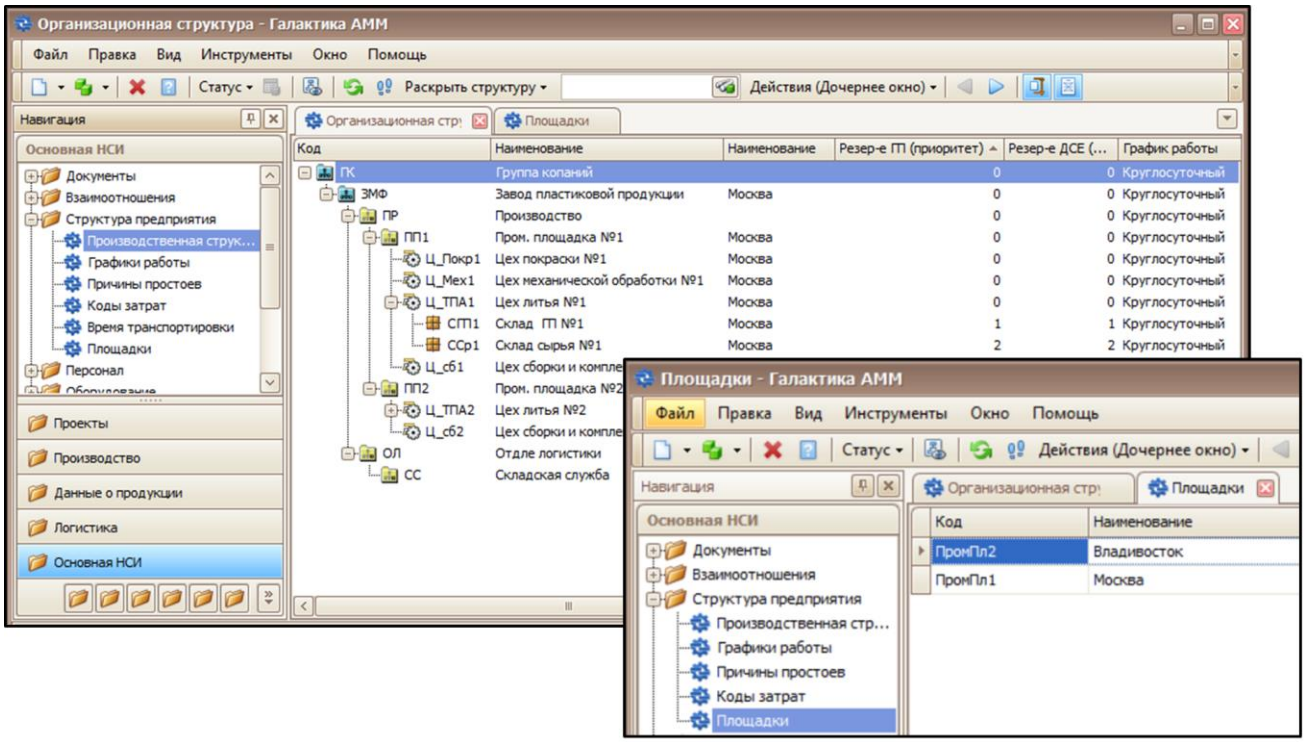

Рис. 1. Организационная структура

2) Номенклатура – справочник содержит перечень выпускаемой продукции, сырья и материалов, параметры номенклатуры, нормы планирования, варианты упаковки и др. параметры.

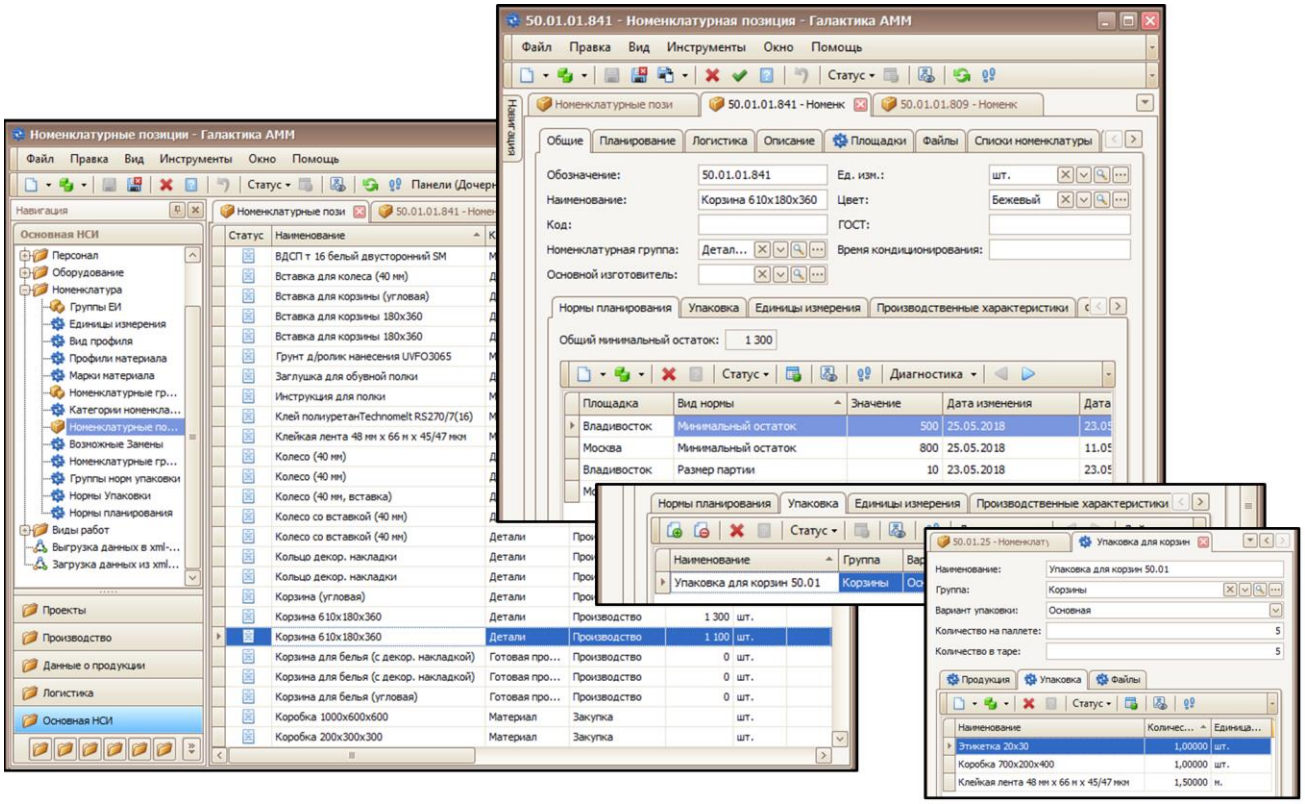

Рис. 2. Номенклатура

3) Оборудование – справочник содержит список единиц оборудования, информацию о технических параметрах, текущем состоянии, запланированных ремонтах.

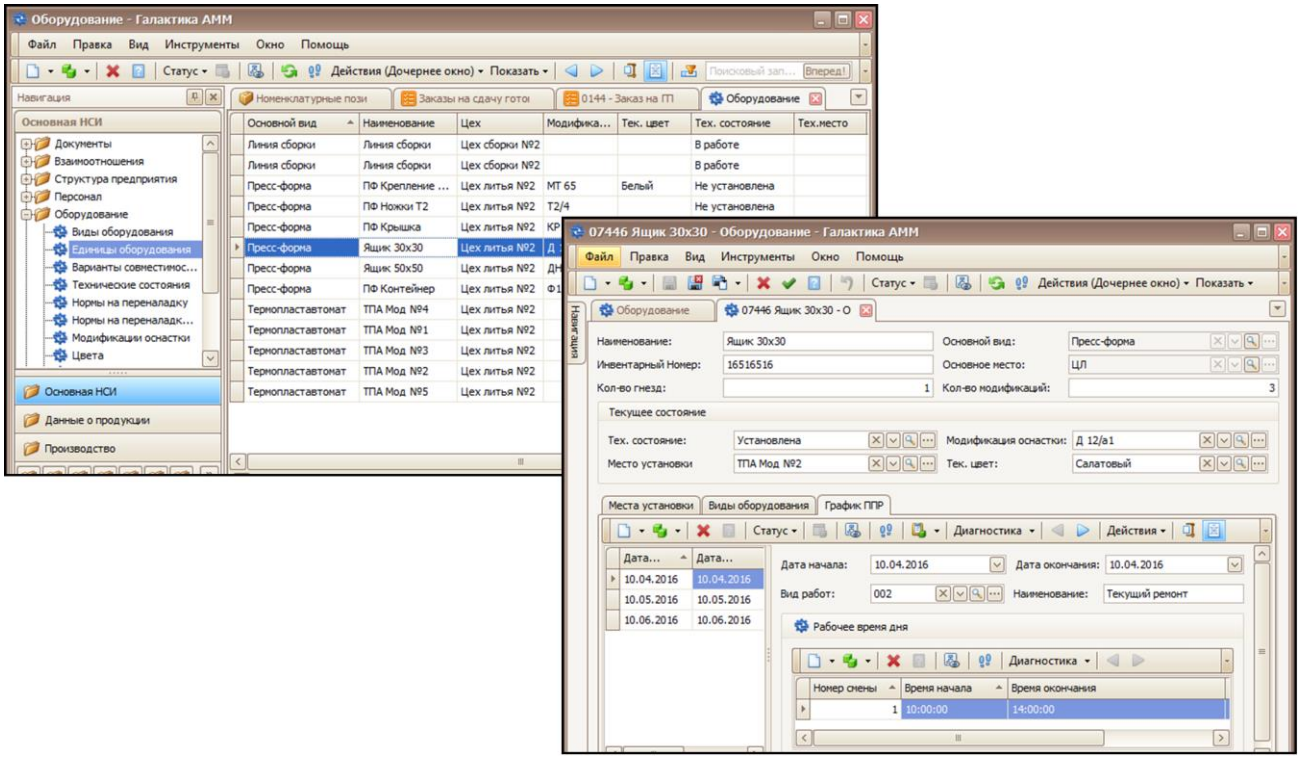

Рис. 3. Оборудование

4) Нормы на переналадку – в системе предусмотрено несколько справочников для нормирования различных видов переналадки, таких как смена оснастки, смена модификации, смена цвета и др. Нормы используются при расчете общей длительности переналадки и стоимости издержек.

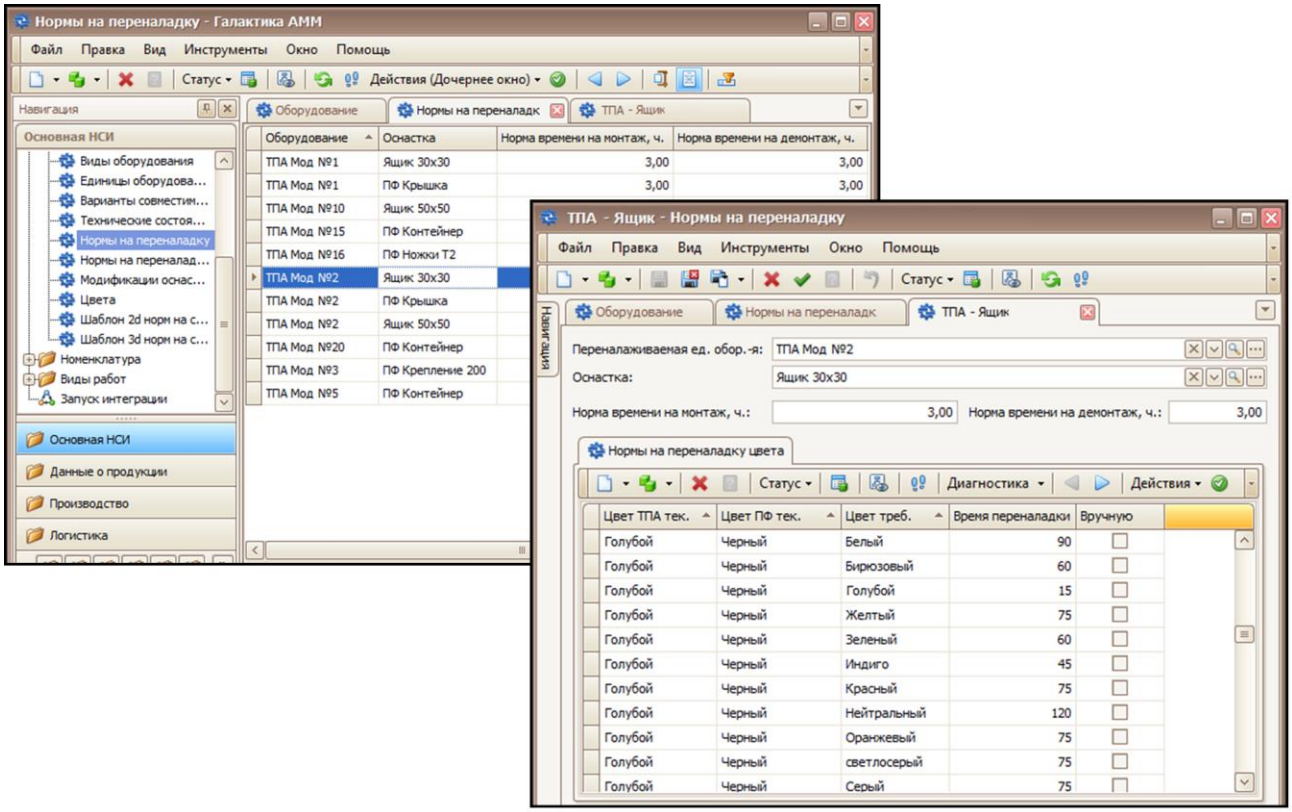

Рис. 4. Нормы на переналадку

5) Состав изделий – справочник содержит нормы использования покупных сырья и материалов и деталей собственного изготовления для производимой продукции, параметры, используемые при подборе спецификаций.

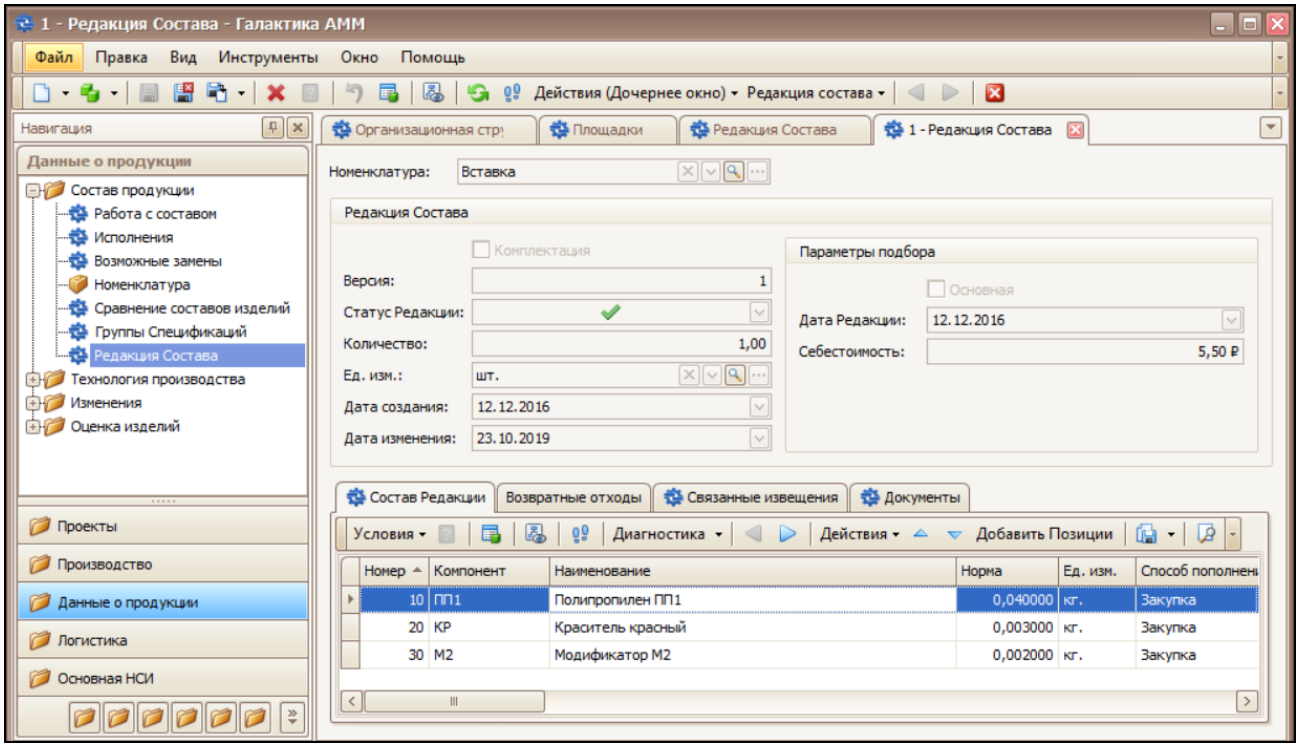

Рис. 5. Состав изделий

6) Технологии изготовления – справочник содержит нормы использования оборудования и персонала, варианты использования оборудования, параметры технологии.

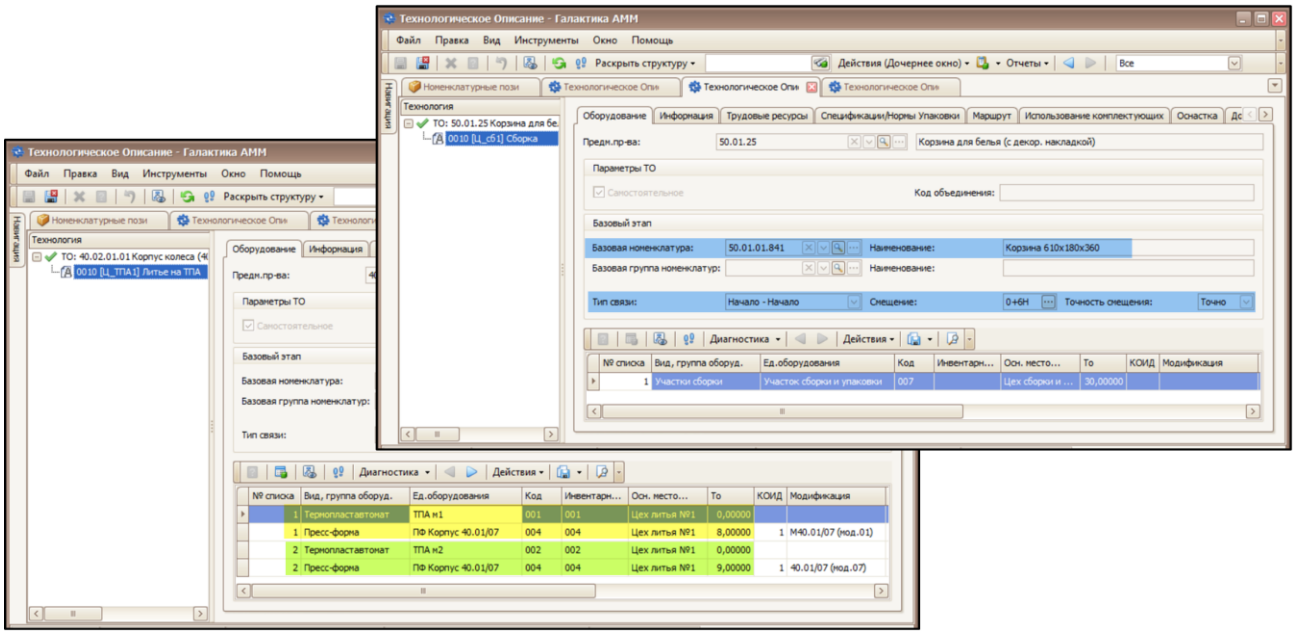

Рис. 6. Технология изготовления

4. Группы оборудования

Все производственное оборудования делится на группы однотипного оборудования. Оборудование в группе выполняет одинаковые технологические операции и является полностью или частично взаимозаменяемым. Для группы оборудования может использоваться универсальный либо индивидуальный алгоритм расчета производственного расписания с учетом параметров оборудования, используемой оснастки, вариантов переналадки и технологии изготовления.

На рис. 7 представлен пример формирования этапов расчета с учетом состава изделий (уровней входимости) и групп оборудования.

В примере используется две группы оборудования:

- Группа оборудования №1, термопластавтоматы и прессформы, оборудование размещено в цехе литья.
- Группа оборудования №2, участок сборки, находится в цехе сборки.

«Изделие 1» в примере имеет два уровня входимости. Независимо от того, что детали выпускные в цехе литья находятся на разных уровнях входимости, 1-м и 2-м, их изготовления будет спланировано на одном этапе расчета, на 1-м, т.к. алгоритм расчета для этой группы оборудования предполагает оптимизацию издержек на переналадку за счет объединения одинаковых деталей, входящих в разные изделия, в совместные партии.

Для деталей, выпускаемых на участке сборки формирование этапов расчета происходит с учетом уровня входимости, т.к. для этой группы оборудования переналадки не требуются, но необходимо чтобы подсборка и финальная сборка были спланированы последовательно, таким образом для группы оборудования №2 создано два этапа расчета.

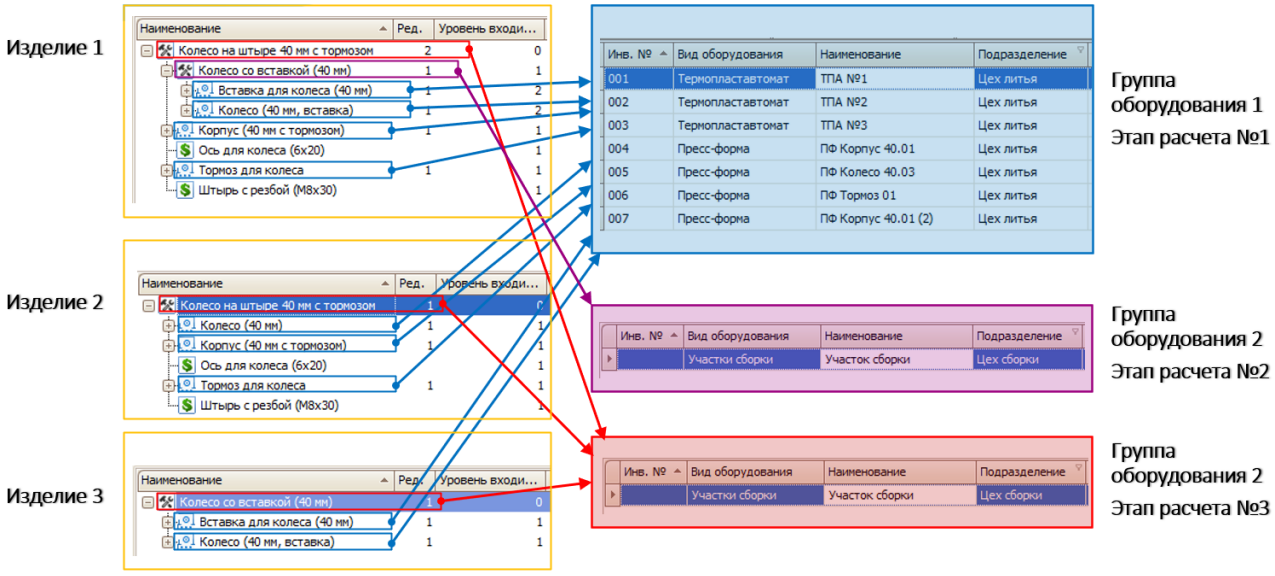

Рис. 7. Группы оборудования

5. Этапы расчета

Расчет плана производства предприятия выполняется последовательно в несколько этапов. Процесс формирования этапов имеет два уровня:

- Первый уровень – разделение расчета по видам ограничений (см. п. 3).
- Второй уровень – разделение расчета по группам оборудования (см. п. 4).

Пример общей схемы поэтапного расчета плана производства представлен на Рис. 8. Схема содержит шесть этапов расчета с учетом трех видов ограничений (в соответствии с п. 3) и двух групп оборудования.

После завершения расчета на первом этапе расчета, перед выполнением расчета на втором от пользователя могут потребоваться следующие действия в зависимости от результатов расчета:

1) Если в результате расчета система предлагает несколько вариантов, необходимо проанализировать варианты, согласовать и утвердить один из вариантов.
2) Если результаты расчета не устраивают по каким-то параметрам, необходимо провести соответствующие корректирующие мероприятия, например:
   a) корректировка количества, сроков и приоритетов заказов;
   b) настройка параметров технологий и спецификаций;
   c) выполнение пересчета для отдельных единиц оборудования;
   d) ручная корректировка очерёдности выпуска заказов.

После завершения расчета на втором этапе расчета и необходимо приступить к расчету с ограничением по наличию материалов, потребуется выполнить следующие подготовительные действия:

1) сформировать потребность в материалах на план производства;
2) проанализировать наличие дефицитов;
3) актуализировать план поставок и загрузить в проект плана.

После завершения расчета на четвертом этапе расчета и необходимо приступить к расчету с ограничением по наличию персонала, потребуется выполнить следующие подготовительные действия:

1) сформировать потребность в персонале;

2) проанализировать загрузку персонала;

3) актуализировать в системе фактическое наличие персонала по участкам и цехам и загрузить в проект плана.

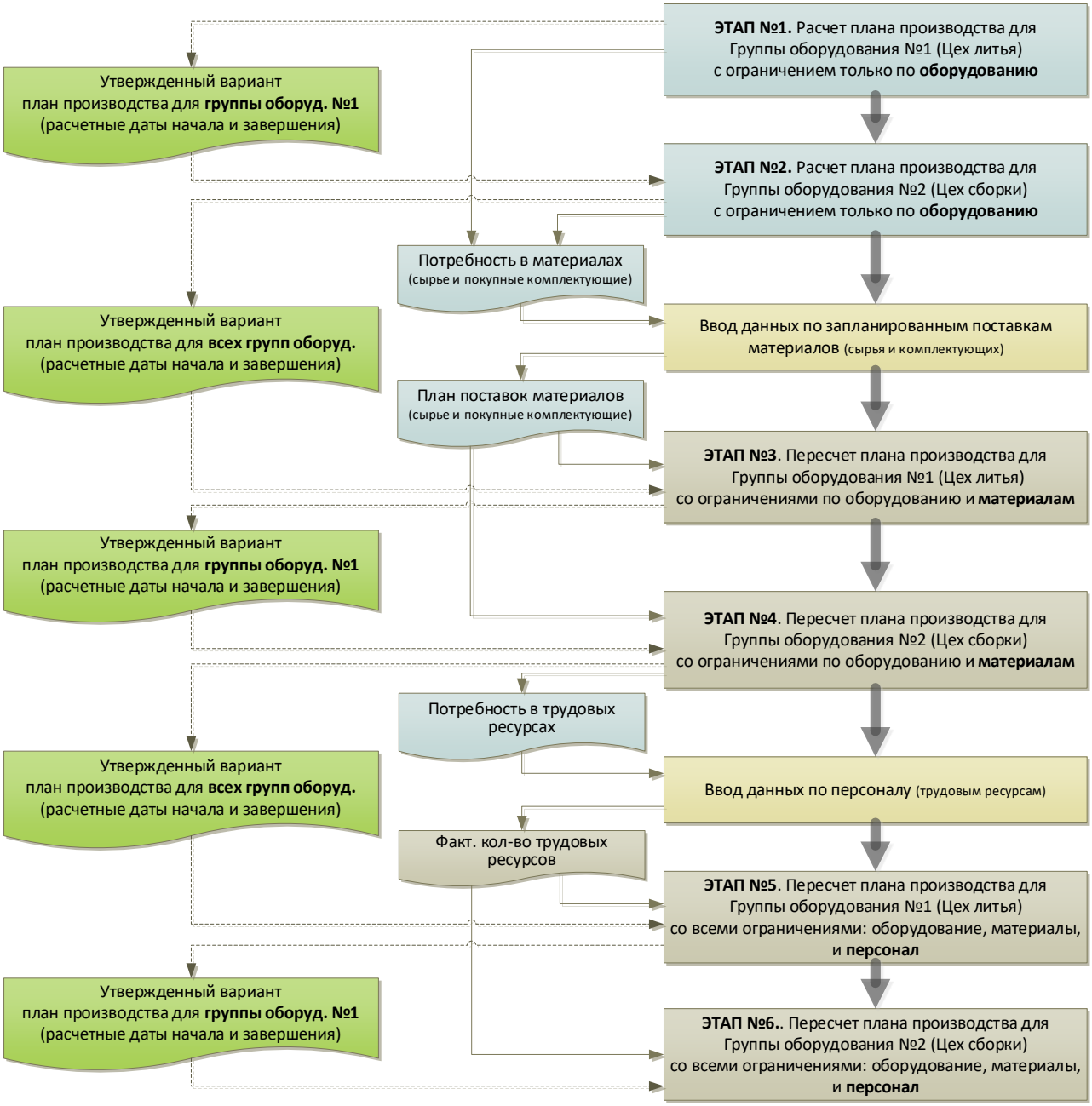

Рис. 8. Схема поэтапного расчета

6. Результаты расчетов (работы алгоритмов)

6.1. Алгоритм расчета количества к производству деталей и сборочных единиц (разузловка).

Для расчета плана производства необходимо выполнить разузловку заказов на готовую продукцию, при этом выполняются следующие операции:

a) формирование заказов на производство деталей и сборочных единиц;

b) резервирование остатков продукции на складах;

c) расчет длительности, плановых сроков и других параметров заказов на производство;

d) формирование партий запуска (см. Рис. 10);

e) формирование этапов расчета (см. Рис. 11);

f) формирование дополнительных заказов на пополнение страховых запасов.

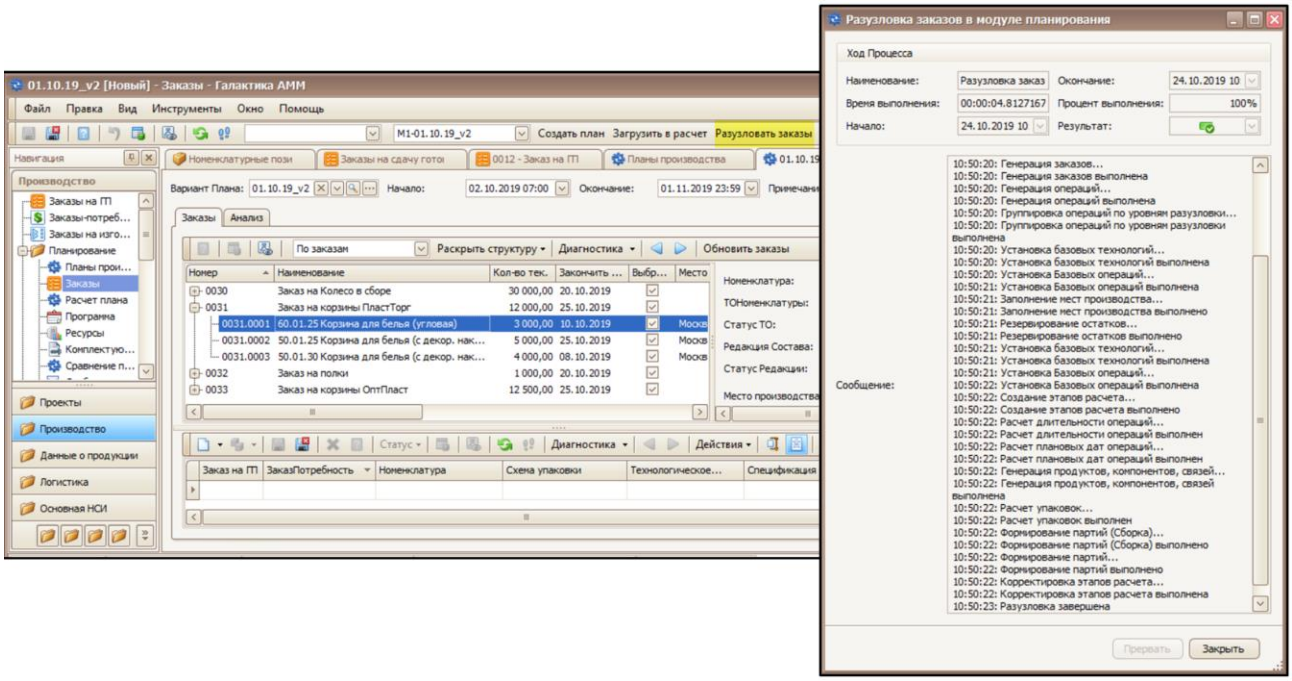

Рис. 9. Процесс разузловки заказов на готовую продукцию

При формировании партий может выполняться объединение заказов на производство с учетом норм производства.

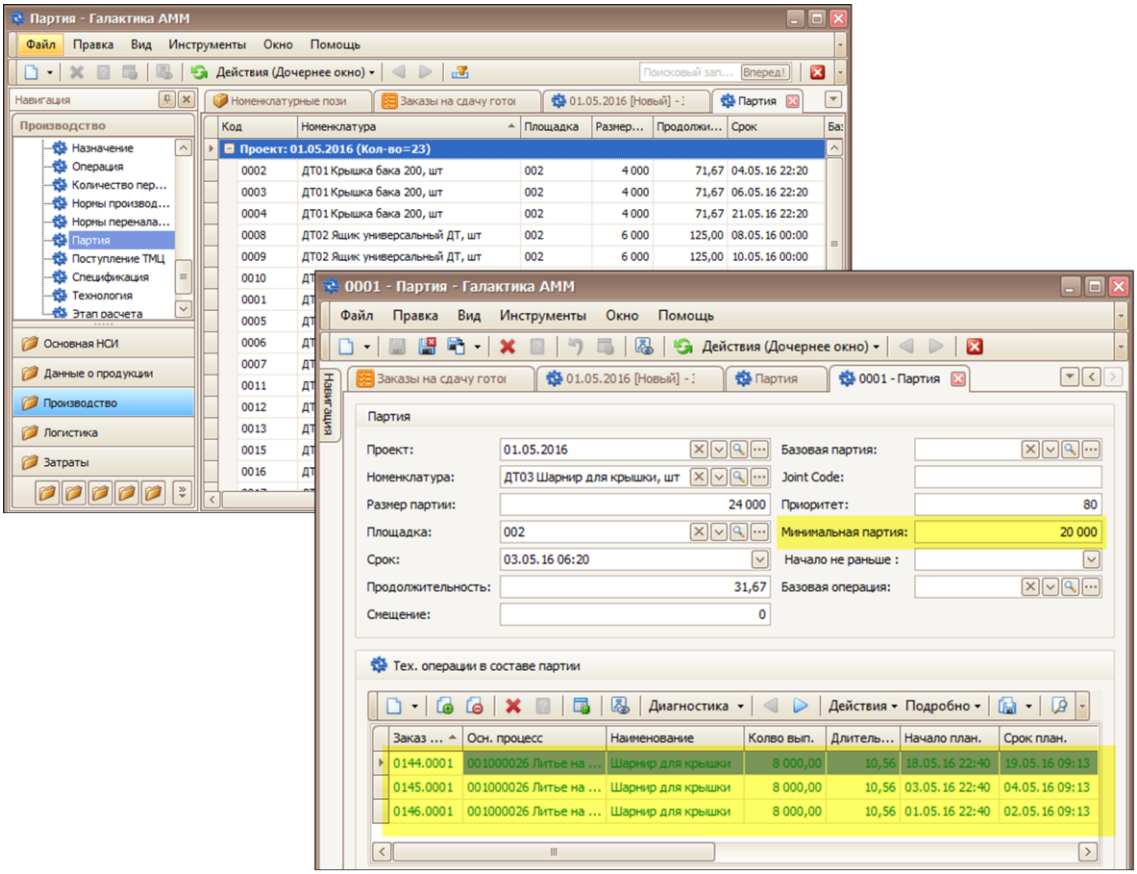

Рис. 10. Партии запуска

6.2. Алгоритм расчета производственного расписания для этапа (одной группы оборудования)

Результатом расчета на каждом этапе расчета является один или несколько вариантов производственного расписания для соответствующей группы оборудования. Каждый вариант плана характеризуется двумя значениями ключевых показателей суммарная стоимость всех издержек и суммарная просрочка всех заказов, в часах.

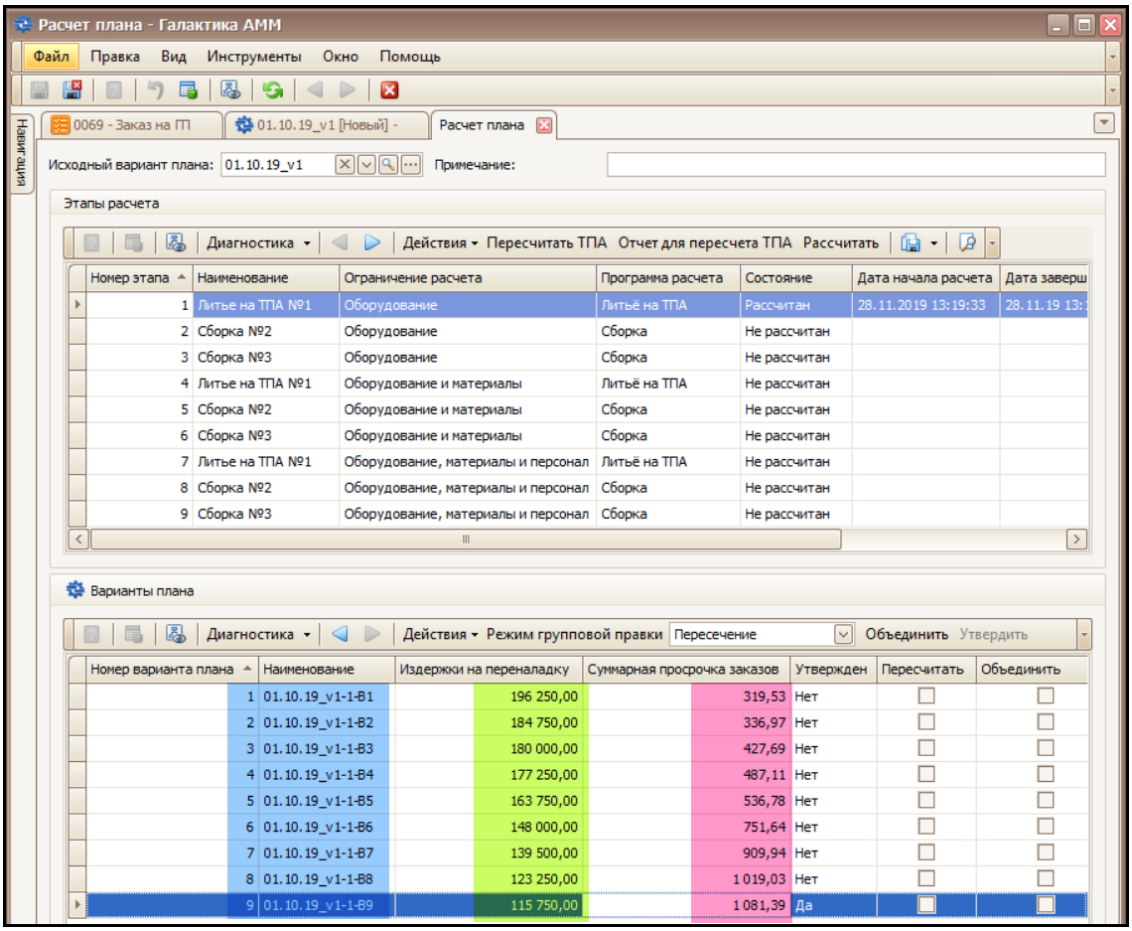

Рис. 11. Этапы расчета и варианты плана

На Рис. 12 представлен пример из двух вариантов плана. Первый вариант имеет минимально возможную просрочку заказов 319,53 часа и большие издержки 196 290,00 у.е. Девятый вариант имеет минимальные издержки и большую просрочку заказов.

В обоих вариантах плана представлен список заказов на производство продукции, это корзины прямоугольные и угловые. Список отсортирован в порядке очерёдности изготовления.

В девятом варианте 4-е заказа на производство прямоугольной корзины выполняются непрерывно, а потом выполняется одна переналадка оборудования, т.е. устанавливается оснастка для угловой корзины.

А первом варианте выполняется две переналадки. Та же картина наблюдается на переходах с одного цвета (сырья) на другой, в верхнем варианте плана на один переход по цвету больше.

Таким образом в результате суммирования издержек на все переналадки по всем единицам оборудования получаются издержки варианта плана.

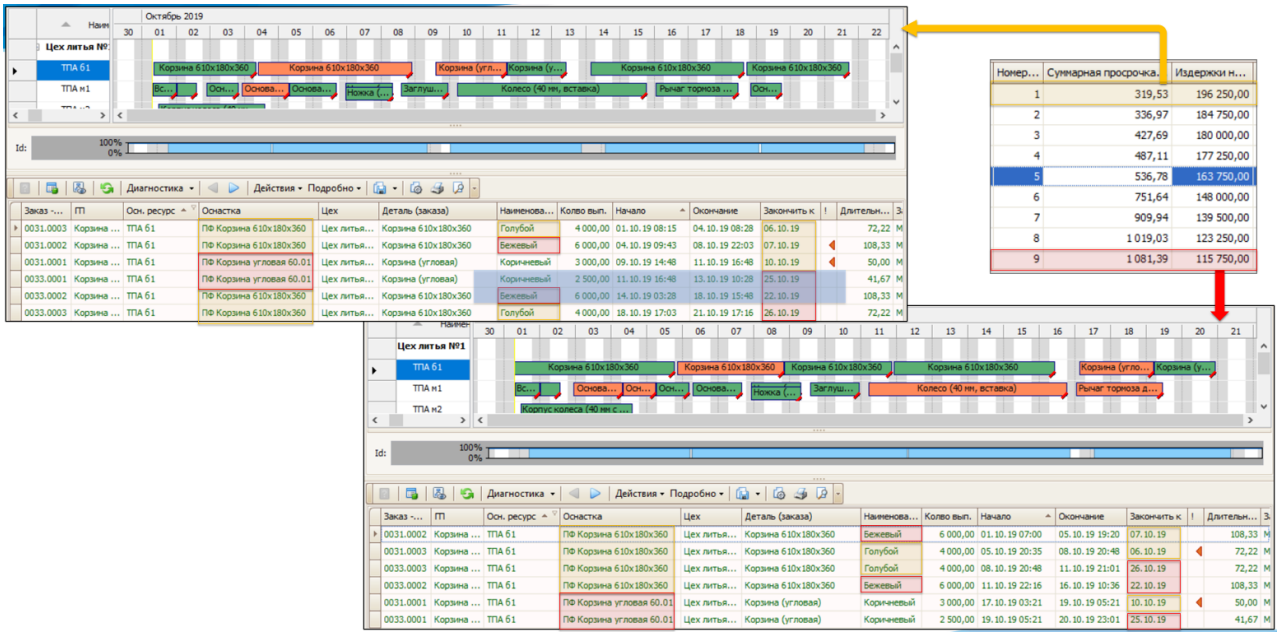

Рис. 12. Варианты плана

На Рис. 13 представлен пример пересчета плана производственного расписания для группы оборудования после добавления в портфель заказов нового заказа на отгрузку готовой продукции.

В результате разузловки и расчета планирование производства деталей нового заказа выполняется с учетом сроков отгрузки и приоритетов, таким образом производство деталей может быть спланировано в середине и даже в начале периода планирования.

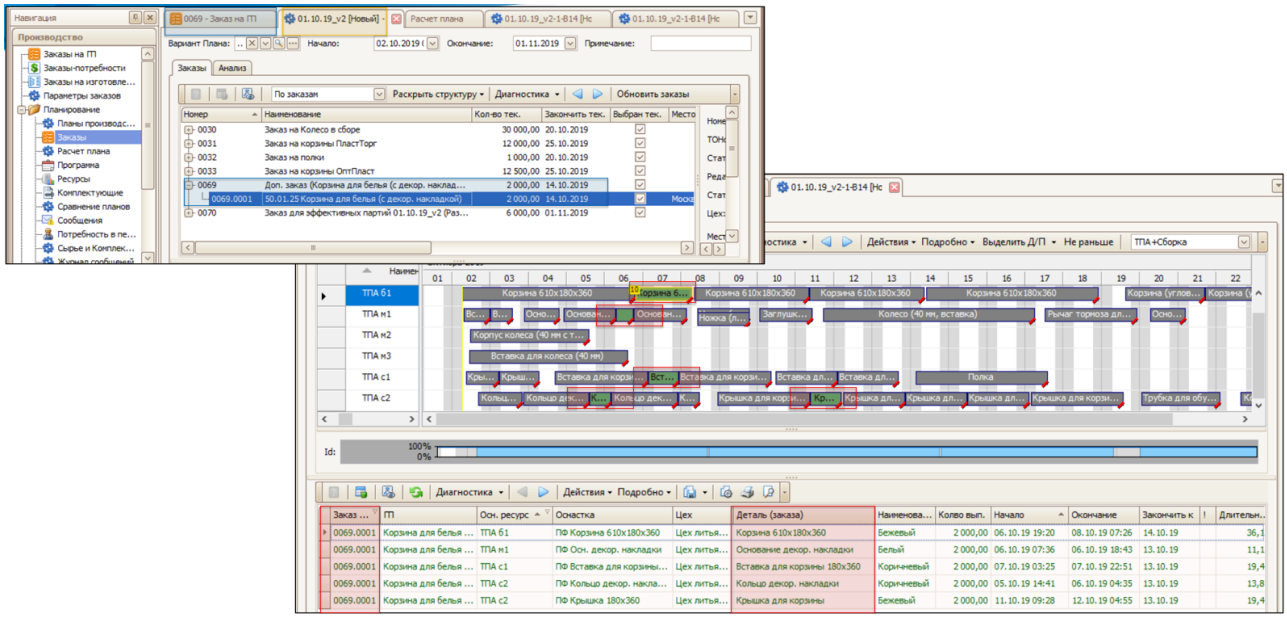

Рис. 13. Варианты плана

На Рис. 14 представлен пример расчета с параллельными операциями. Параллельное выполнение операций изготовления продукции может быть спланировано в следующих случаях:

1) Оборудование имеет несколько гнезд на которых изготавливаются разные детали

2) В технологиях изготовления предусмотрено одновременное выполнение двух операций. Одновременное выполнение двух операций может быть спланировано как на одном рабочем центре, так и на разных.

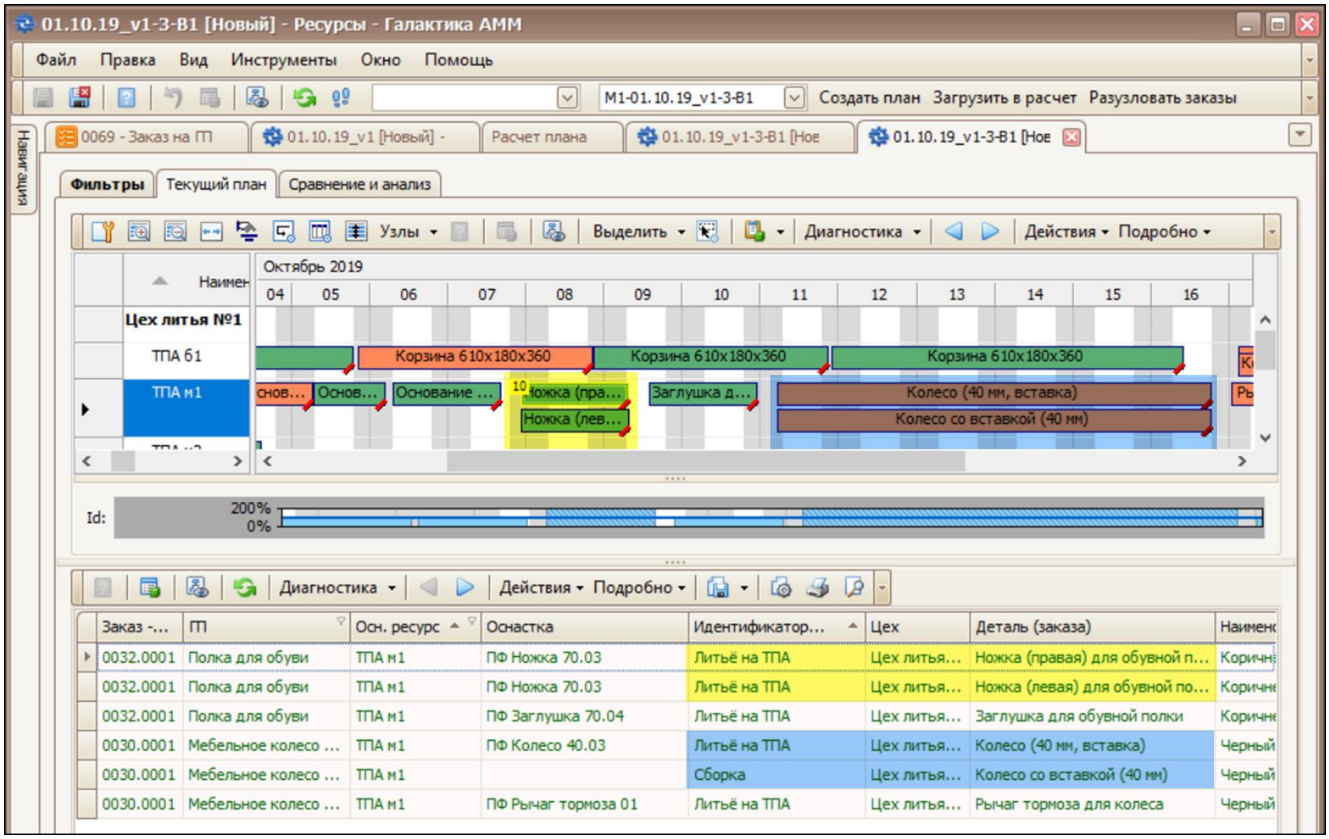

Рис. 14. Параллельное выполнение операций

6.3. Алгоритмы расчета с ограничением по наличию материалов

Входными данными являются заказы на производство деталей и сборочных единиц из утвержденного варианта плана рассчитанного с ограничением по мощности оборудования для всех групп оборудования. Заказы на производство содержат следующую информацию:

- номенклатура – предмет производства;
- рассчитанные сроки запуска и выпуска;
- количество продукции к выпуску;
- подобранная спецификация – содержит перечень требуемых компонент и нормы расхода.

Расчет с ограничением по материалам состоит из нескольких шагов:

1) Расчет потребности в сырье, материалах и покупных комплектующих (компоненты).

   Все заказа, включенные в план производства разбиваются на части с шагом в одну рабочую смену. Расчет потребности в компоненте на смену выполняется с учетом количества продукции, выпускаемой в смену. Далее для каждого компонента, рассчитывается суммарная по все заказам потребность на смену.

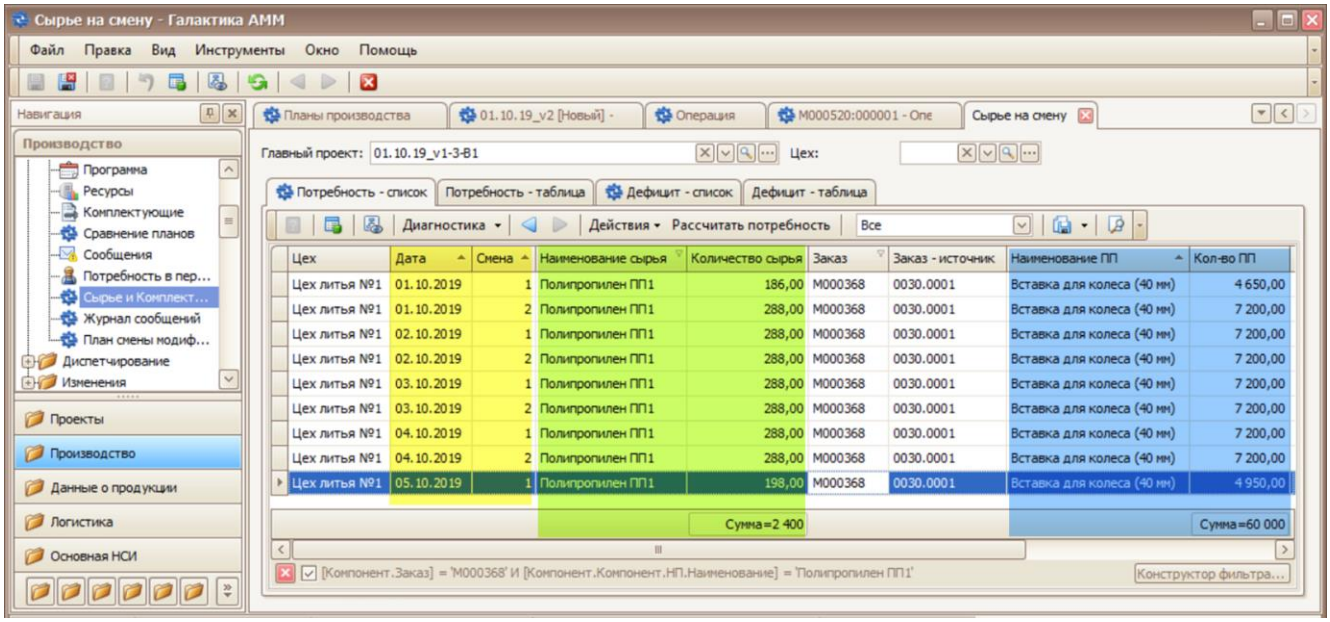

Рис. 15. Потребность в сырье

2) Расчет дефицита.

Расчет дефицита сырья вычисляется для каждой смены. При этом рассчитываются следующие показатели:

- остаток на начало смены;
- плановое поступление в смену (например, от поставщика);
- потребность в смену на все изделия, выпускаемые в текущую смену с учетом количества и нормы расхода по спецификации;
- плановое выбытие (например, перемещение на другую площадку);
- остаток на конец смены.

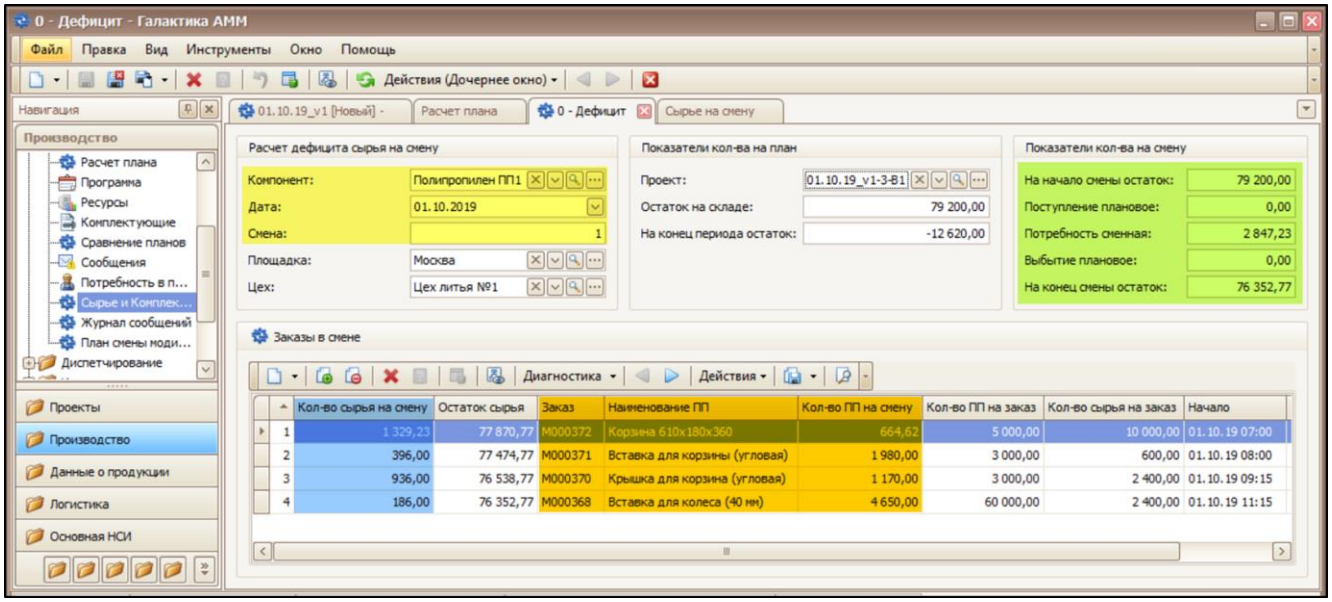

Рис. 16. Расчет сырья на смену

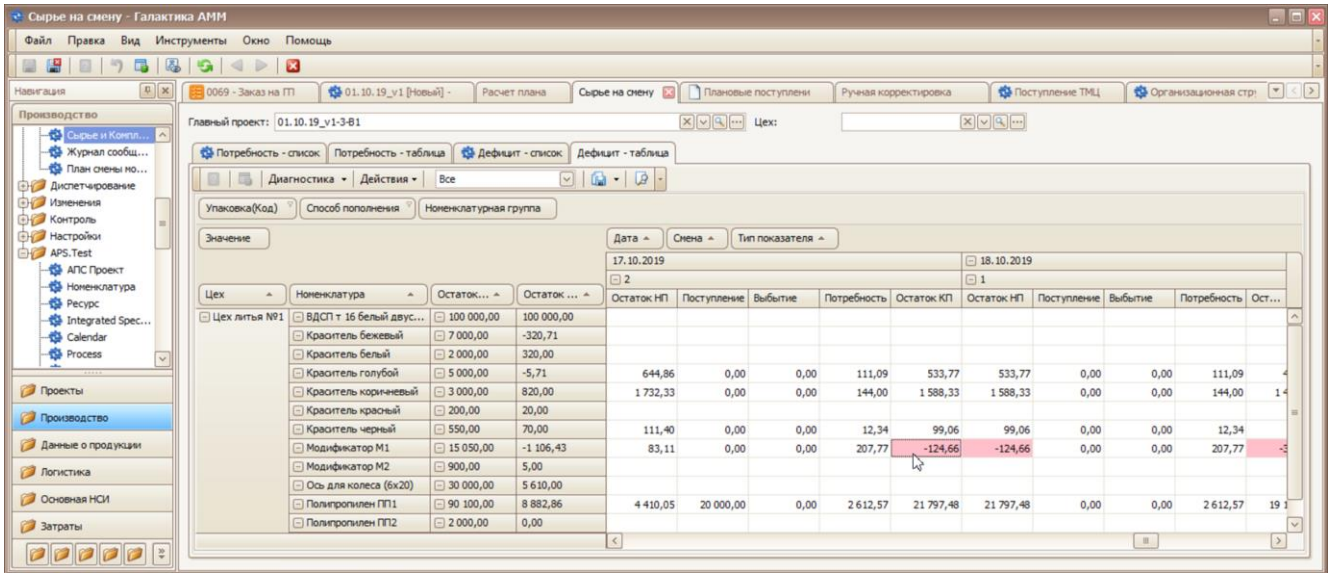

Рис. 17. График потребности и дефицитов на период планирования

3) Замена спецификаций.

Замена спецификаций выполняется с учетом остатков, плановых поступлений и возможных замен. В результате актуализации графика поступления сырья и материалов возникает потребность в замене спецификаций для анализа дефицитов. Замена спецификаций может выполняться как в ручном режиме, так и в автоматизированном.

На Рис. 18 представлен интерфейс замены спецификаций, который содержит следующую информацию:

- показатели компонента на смену;
- список заказов-потребителей;
- состав текущей спецификации текущего заказа;
- список всех доступных для замены спецификаций;
- остатки компонентов по спецификациям доступным для замены на конец периода планирования;
- инструменты для полной или частичной замены спецификации для текущего заказа.

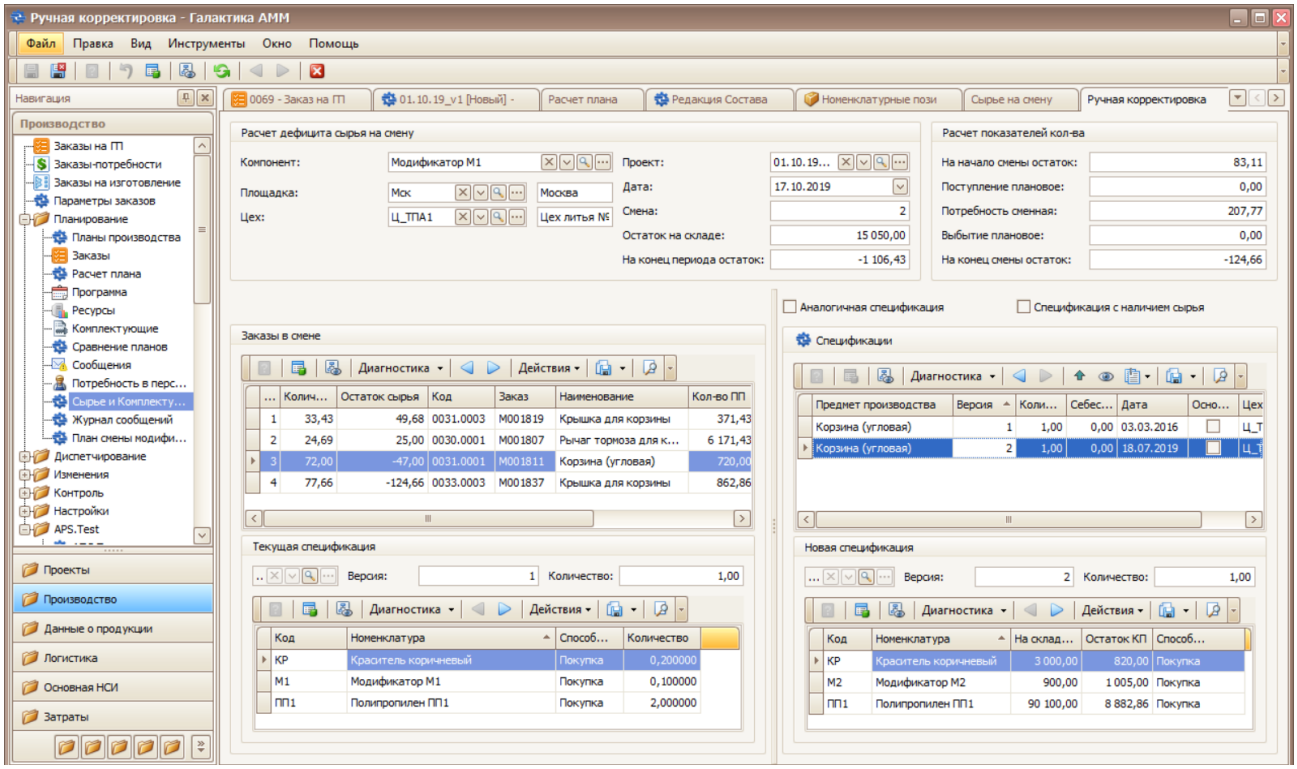

Рис. 18. Интерфейс замены спецификаций

4) Пересчет плана с ограничением по материалам.

В процессе пересчета система выполняет следующие действия:

- определяет заказы с компонентами, по которым возник дефицит;
- выполняет замены спецификаций (полную или частичную) при наличии спецификаций, не имеющих дефицитные позиции;
- корректировку сроков заказов при наличии плановых поступлений в более поздние сроки.

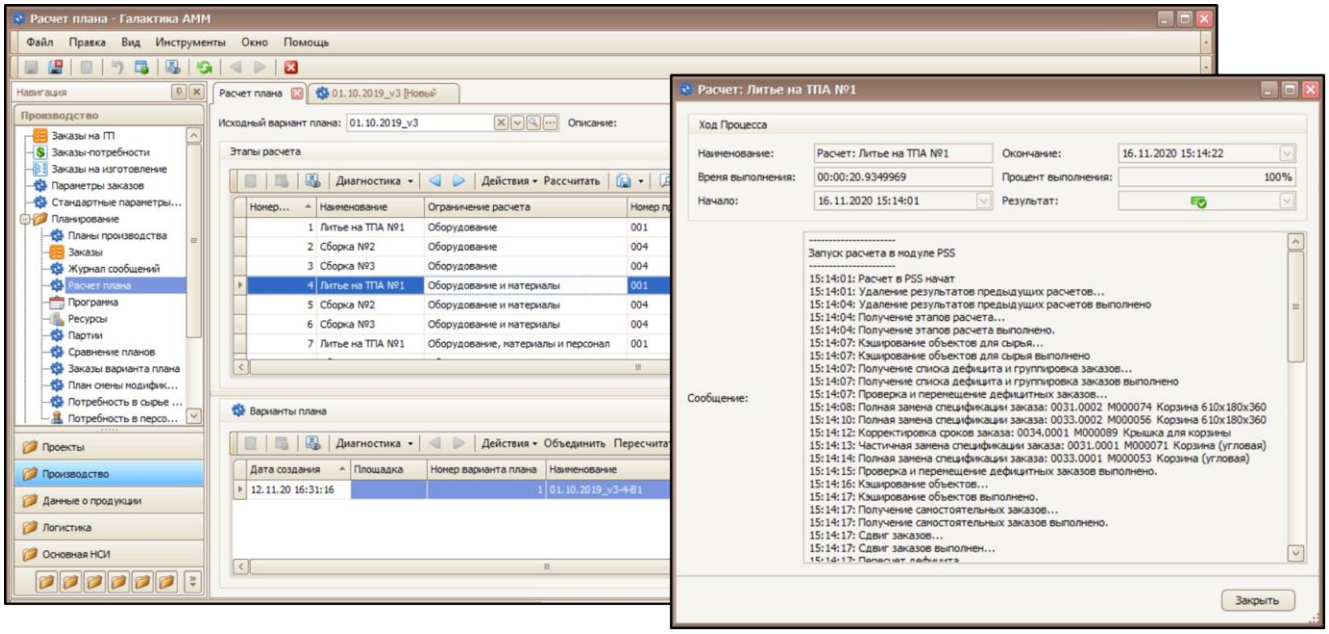

Рис. 19. Ход процесса расчета с ограничением по наличию материалов

6.4. Алгоритмы расчета с ограничением по наличию персонала

Расчет с ограничением по наличию персонала состоит из нескольких шагов:

1) Расчет потребности в производственном персонале. Расчет потребности выполняется для основной профессии по сменам.
2) Расчет фактического наличия для основной профессии по сменам.
3) Расчет дефицита
5) Пересчет производственного расписания с учетом наличия персонала. В процессе пересчета система выполняет следующие действия:
    - определяет заказы, по которым возник дефицит;
    - выполняет корректировку срок заказа, сдвигает заказ на более поздний срок;
    - выполняет увеличение длительности заказа, за счет снижения количества персонала, выделенного на заказ.

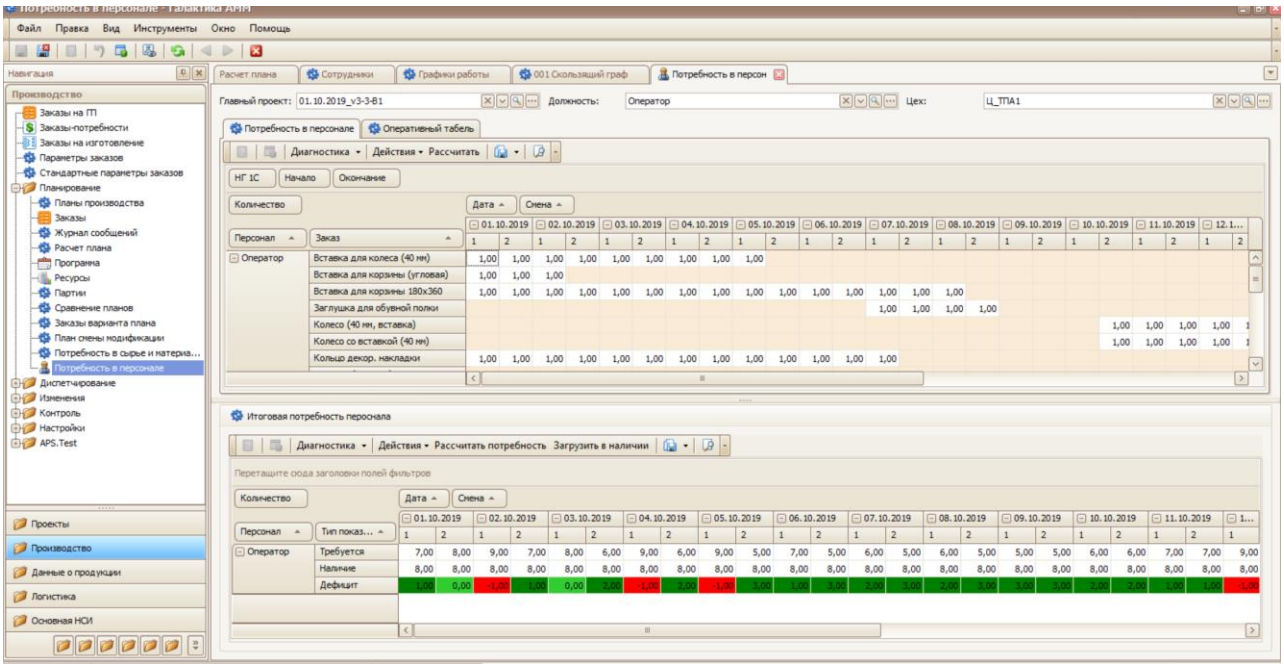

Рис. 20. Интерфейс расчета потребности и дефицита по персоналу

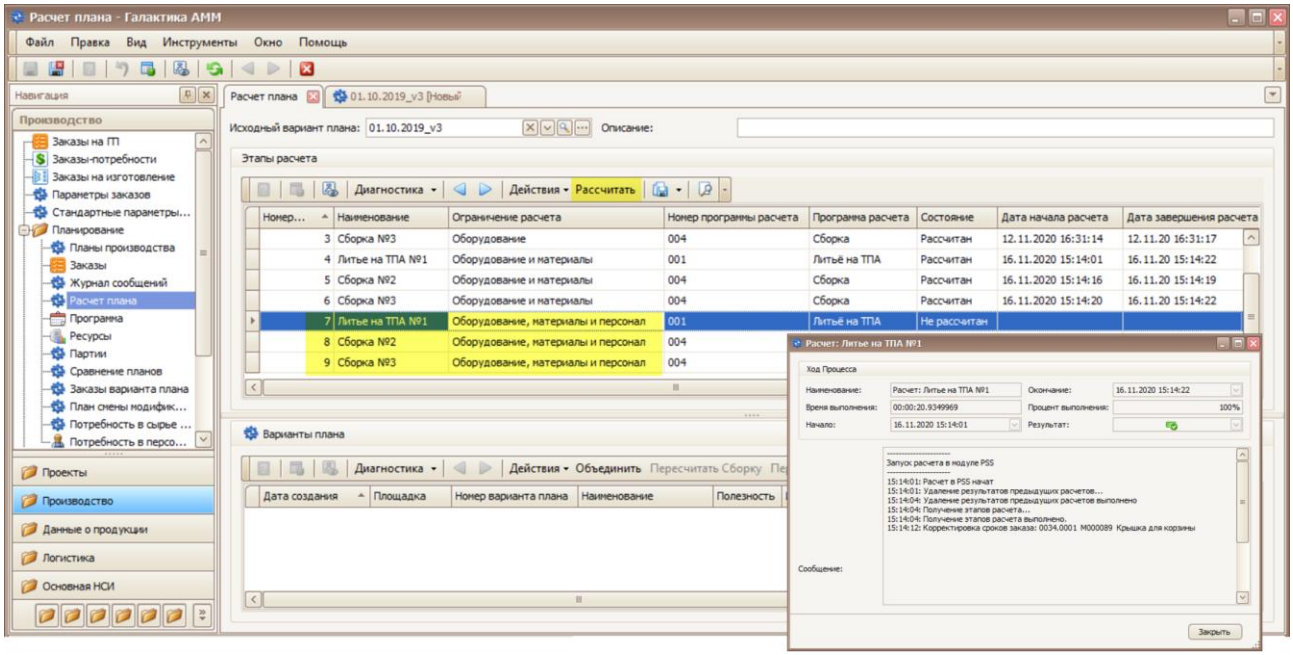

Рис. 21. Ход процесса расчета с ограничением по наличию персонала