

УДК 519.876.5

«ФАБРИКА ПРОЦЕССОВ»: КАК МОДЕЛИ НА ALINA GPSS ПОМОГАЮТ РОСАТОМУ В ОБУЧЕНИИ ПРОЕКТИРОВАНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ ПЛАНИРОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ**М.В. Федотов, Е.А. Петрова, Д.Н. Маряшина, Т.В. Девятков (Казань),
Р.М. Габбасов, А.В. Лагутин (Ковров)****Введение**

«Практика без теории слепа, теория без практики мертва», писал Александр Васильевич Суворов. Важность подкрепления теоретических знаний практическим опытом и обобщение этого опыта для получения новых знаний является ключом для достижения успеха в любой сфере деятельности. Госкорпорация «Росатом» знает эту истину не понаслышке и вкладывает большие средства в обучение своих сотрудников.

Одним из лидеров в этом направлении является учебный центр ПАО «КМЗ». В 2024 г. на базе учебного центра состоялась открытие фабрики по разработке оптимальных планировочных решений (фабрики процессов). Фабрика процессов – это учебная площадка, на которой участники получают практический опыт применения инструментов производственной системы и формируют представление о том, как её улучшение влияет на операционные и экономические показатели предприятия. Цель создания фабрики процессов – повышение эффективности создаваемых и модернизируемых участков, цехов и заводов как внутри отрасли, так и за её пределами. [1]. Данное направление развивается согласно культуре бережливого производства ПСР (производственной системы «Росатома») – системе, призванной поддерживать непрерывное совершенствование сотрудников и процессов для обеспечения конкурентного преимущества компании на мировом уровне [2].

Цели и задачи «Фабрики процессов»

В 2025 году специалистами учебного центра ПАО «КМЗ», совместно со специалистами компании «Элина-Компьютер» был создан универсальный программный инструмент для разработки планировок производственных участков.

Данный программный инструмент предназначен для обучения специалистов навыкам построения планировок производственных участков, а также организации и проведения соревнований между несколькими группами (командами) участников.

В его состав входит подсистема генерации и исполнения имитационных моделей на платформе ALINA GPSS [6], которая служат для оценки полученных с помощью инструмента планировок.

Участникам предлагается разработать планировку производственного цеха по выпуску изделий заданного типа. Задание включает в себя разработку планировочных решений отдельных участков, входящих в производственную цепочку выпуска изделия, определение их взаимного расположения, прокладывание логистических маршрутов для перемещения заготовок и деталей между участками.

Процесс обучения (соревнования) сопряжен с обработкой участниками большого объема данных и требований, необходимых для построения планировок. А организаторам, с другой стороны, требуется провести всесторонний анализ работ участников для определения адекватности и корректности принятых ими решений. Учитывая сложность предметной области в целом и ограничения по времени (в рамках соревнований), возникает острая необходимость автоматизации действий обеих групп. Поэтому перед программным инструментом были поставлены следующие задачи:

- автоматизация процессов построения планировок 6 видов: общей планировки производства и пяти отдельных участков. В рамках этой задачи требуется устранение рутинных операций и обеспечение общей поддержки участников, путём предоставления вспомогательных инструментов для быстрого и удобного решения отдельных задач;

- предоставление функций по выполнению предварительной расчётной части, необходимой для обоснования, принятых участниками решений;

- автоматизация построения карт стандартизированной работы;
- автоматическая генерация имитационных моделей разработанных участков;
- проверка соответствия разработанных участков поставленным требованиям;
- проверка выполнимости производственного плана;
- анимация движения персонала и работы оборудования по территории участков;

- генерация отчётов о результатах моделирования (включая количество оборудования, длины транспортных путей, количества пересечений маршрутов, объем запасов и т.д.);

- предоставление инструментов для организации совместной работы организаторов и участников мероприятия.

Указанные меры призваны снизить количество ошибок и повысить точность оценки работ участников. Многие процессы выполняются системой автоматически или автоматизированы. Важно было достичь такого баланса, чтобы, с одной стороны оградить участников и организаторов от ненужной рутины, а с другой – предоставить такое поле, чтобы участники смогли по максимуму раскрыть свой творческий потенциал.

Для организации совместной работы участников и специалистов в рамках учебного процесса или состязания в программном инструменте реализована система авторизации, включающая три основные роли:

- организатор – представитель обучающей стороны, ответственный за формирование общих правил и настроек соревнования. В его функции входит задание конфигурации отдельных участков, определение дополнительных усложнений, определение штрафных баллов и т.п.;

- участник (обучающийся) занимается непосредственным формированием планировок участков;

- эксперт занимается контролем хода учебного процесса, проверяет работы участников на каждом этапе работ, выставляет итоговые баллы.

Инструменты участника «Фабрики процессов»

В рамках отдельно взятого учебного процесса (или соревнования) участникам необходимо разработать общую планировку предприятия, включающую в себя следующие участки: склад материалов, заготовительный участок, участок термообработки, участок промывки, маркировки и контроля ОТК, участок гальванопокрытий, механические участки, сборочный участок и склад готовой продукции.

Каждый из участков включает в себя два обязательных этапа разработки: формирование форм с данными и показателями участка и разработка планировки. Для механического участка, дополнительно, разрабатывается карта стандартизированной работы операторов станков.

Формы служат для задания исходных данных участков, таких как количество проката деталей, суточный темп работы, количество станков и операторов, количество стеллажей с готовыми изделиями и т.п. С их помощью участники формируют и

обосновывают свои решения по тем или иным аспектам работы производства. При подготовке формы ряд значений участники рассчитывают и задают самостоятельно, другие рассчитываются системой на основе введённых ранее данных. На рис. 1 показан пример заполнения формы для одного из участков.

Режим работы

Рабочие места

+ Добавить рабочее место

Сохранить изменения

	Рабочее место	Операция	Время цикла операции, мин.	Суммарно время работы слесаря-сборщика мин.	Загрузка слесаря-сборщика на рабочем месте, %	Принятое количество слесарей-сборщиков в смену, чел.	Средняя загрузка каждого слесаря-сборщика %	Потребное количество рабочих мест, ед.	Количество слесарей-сборщиков в сутки, чел.	Закрепление слесарей-сборщиков согласно матрицы компетенций
	а	б	в	г=Σ(в)	д=г·L*100	е	ж=д:е	з=е	и=е*К	
☐	P.M.1	1СБ,2СБ		22.50	62.50%	1	62.50%	1	3	Слесарь-сборщик 5,10,11
L		1СБ	7.5							
L		2СБ	15							
☐	P.M.2	4СБ		30.00	83.33%	1	83.33%	1	3	Слесарь-сборщик 2,4,6
L		4СБ	30							
☐	P.M.3, P....	3СБ,5СБ,Готовое изделие		39.50	109.72%	2	54.86%	2	6	Слесарь-сборщик 7,8,12
L		3СБ	7							
					Итого	4			12	

Список ошибок (1)

❶

В строке 6, в поле «Количество слесарей-сборщиков в сутки, чел.» (и) содержится ошибка. Значение не соответствует колонке «Закрепление слесарей-сборщиков согласно матрицы компетенций».

Рис. 1. Пример расчётной формы участка

Редактор планировки (рис. 2) предназначен для определения и пространственного размещения внутренних элементов участка. В зависимости от его типа, это могут быть стеллажи, станки, рабочие места, проезды автоматического транспорта и т.п. Каждый элемент характеризуется набором специфичных для него параметров.

Важную часть процесса занимает определение маршрутов перемещения материалов, деталей и изделий. Система упрощает этот процесс и содержит функции по автоматической генерации маршрутов. Тем не менее, участник может отредактировать или перестроить предложенный вариант, если найдёт более удачные маршруты. Удаленность элементов планировки друг от друга влияет на траекторию движения деталей и заготовок по планировке, а, следовательно, и на время их перемещения. Эта информация используется в имитационной модели.

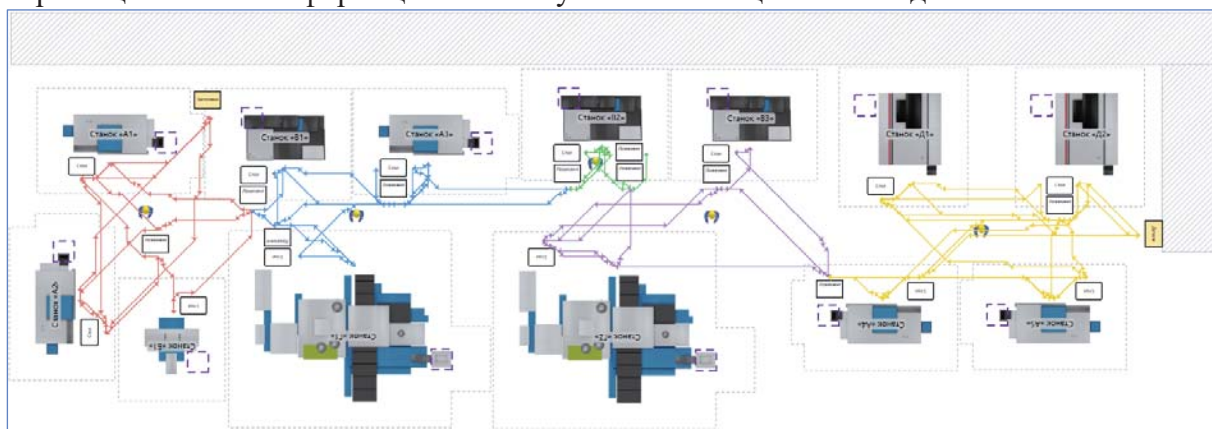


Рис. 2. Пример планировки механического участка

Работа над механическим участком дополнительно включает в себя создание и редактирование объединённой таблицы (карты) стандартизированной работы (рис. 3).

Она представляет собой подобие диаграммы Ганта. С её помощью, участники определяют последовательность действий каждого оператора на участке. Каждая операция включает в себя последовательность действий, необходимых для завершения обработки входной детали, и занимает время, заданное в конфигурации. Технологическая операция выполняется в двух режимах – ручном и автоматическом. Участник может управлять последовательностью технологических операций, выполняемых на определенном станке, добавлять переналадки, дополнительно занимать оператора в периоды ожидания завершения автоматических операций. Если для выполнения операции в начальный момент или согласования действий отдельных операторов требуется использование стандартного запаса, участник может указать его количество.

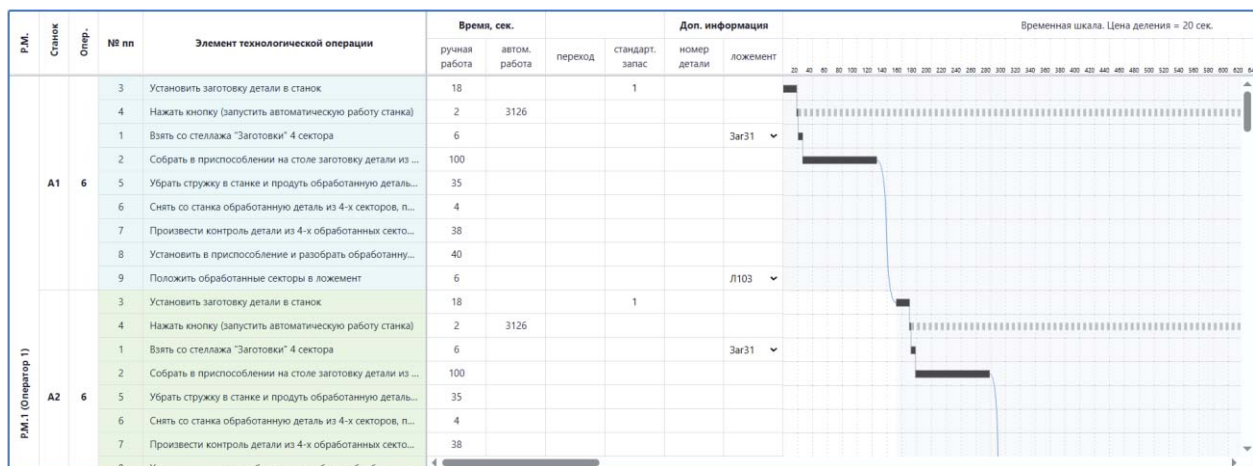


Рис. 3. Фрагмент объединённой таблицы стандартизированной работы

На каждом этапе система анализирует работу участника и сигнализирует в случае обнаружения ошибок. Эта функция может быть скорректирована организатором процесса обучения (соревнования) чтобы сделать задачу более сложной. В этом случае ошибки будет видеть только проверяющий специалист.

Роль имитационного моделирования

Имитационное моделирование играет одну из ключевых ролей в процессе работы системы. С его помощью проводится динамический анализ корректности разработанных планировок участков. Не все участки требуют такой проверки. Некоторые, например, склад материалов, могут быть проверены расчётными методами.

Имитационное моделирование применяется для анализа трёх наиболее сложных участков: заготовительного, механического и сборочного.

Особенностями этих участков являются:

- проработанный технологический процесс, состоящий из технологических, логистических и вспомогательных операций;
- возможность выполнения одной и той же операции оборудованием разных типов;
- наличие переналадок оборудования, выполняемых при переключении между материалами или операциями;
- наличие карт стандартизированной работы, которые могут быть видеоизменены участниками для повышения эффективности расходования рабочего времени операторами участков;
- наличие расписания работы, тактов работы операторов.

Ввиду высокой вариативности получаемых планировок в системе заложены не конкретные готовые имитационные модели, а генераторы моделей. Которые формируют итоговую модель на основании шаблонов по заданным правилам работы. Для разработки моделей использовался универсальный язык имитационного моделирования GPSS World Core и платформа ALINA GPSS [3, 4].

Рассмотрим модели отдельных участков более подробно.

На заготовительном участке происходит подготовка поступающего со склада материалов проката. Планировка подразумевает расположение ленточнопильных станков и их привязку к рабочим местам. За каждым рабочим местом закрепляется сотрудник (оператор). Помимо того, планировка включает в себя размещение зон хранения материалов перед обработкой, зон хранения заготовок и проездов для транспорта.

Пример планировки заготовительного участка представлен на рис. 4.

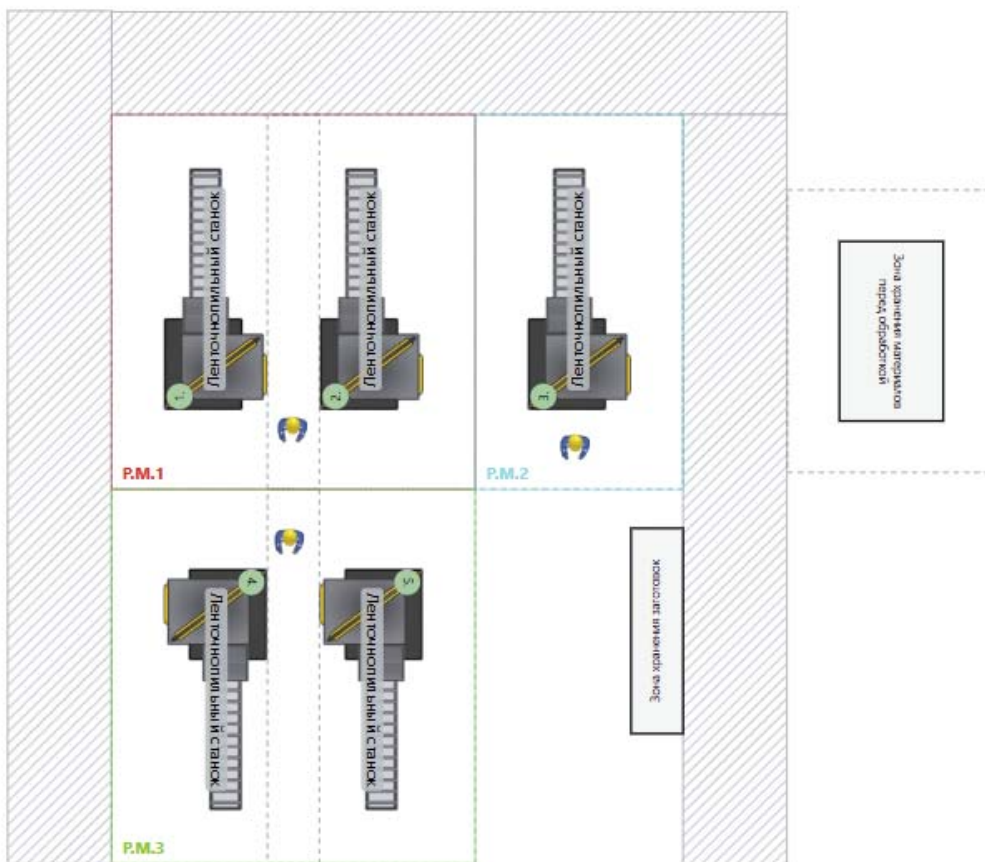


Рис. 4. Пример планировки заготовительного участка

На механическом участке происходит обработка деталей на станках. В рамках данного участка участник определяет количество и параметры оборудования, закрепляет за оборудованием технологические операции, выполняет расчёт численности и загрузки операторов, определяет количество стандартного запаса.

Для каждого оператора определяются маршруты его перемещения между оборудованием и стеллажами. Система помогает в этом участнику, предлагая готовые маршруты, которые впоследствии могут быть изменены.

Пример планировки механического участка представлен на рис. 2.

На сборочном участке происходит сборка готового изделия.

Для формирования планировки сборочного участка, участнику необходимо определить суточный темп и режим работы участка, количество сборочных столов, численность, расстановку и загрузку основного персонала, стандартный запас и места его расположения на участке. Между элементами планировки должны быть построены маршруты движения материального потока.

Пример планировки участка представлен на рис. 5.

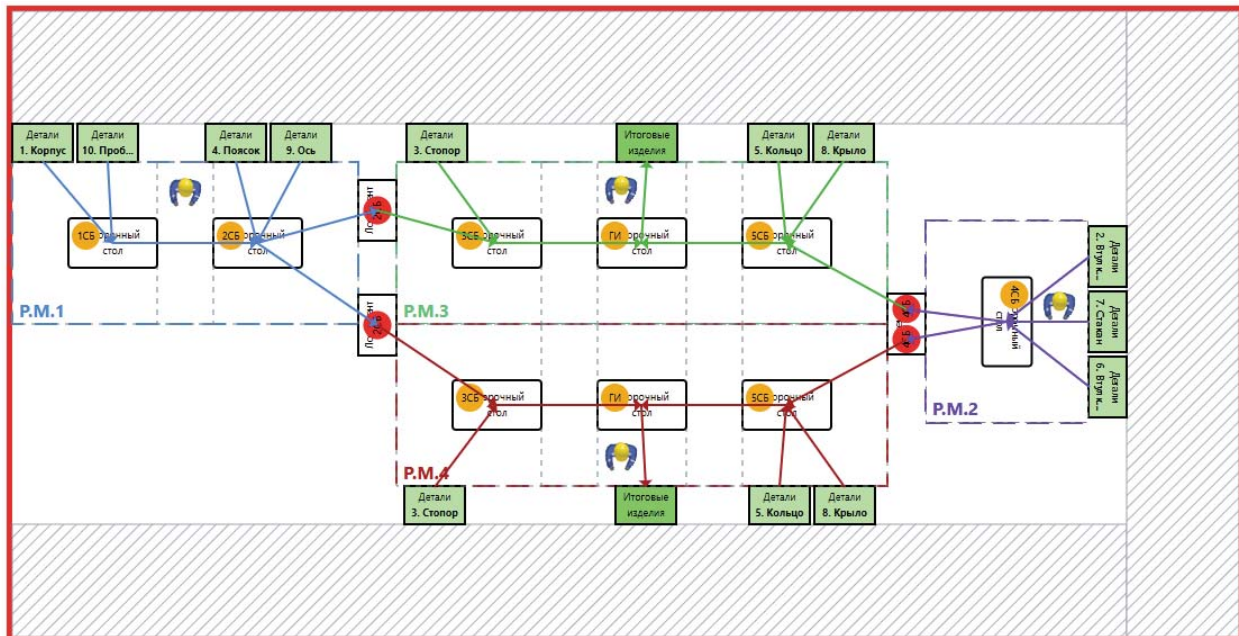


Рис. 5. Пример планировки сборочного участка

После того, как участник завершит формирование всех исходных данных участка, которые включают в себя формы исходных данных, планировку и объединённую таблицу стандартизированной работы, система выполняет имитационное моделирование. В процессе выполнения в модели проверяются следующие аспекты работы участка:

- возможность выполнения заданного производственного плана. В зависимости от типа участка план может быть определён, как количество заготовок, деталей или продукции, которые должны быть обработаны или изготовлены за заданный организатором промежуток времени. При этом, задание может быть усложнено наличием производственного брака;
- согласованность выполнения технологических операций и их соответствие эталонному технологическому процессу;
- корректность задания последовательности действий операторов. Учёт всех требований по перемещению операторов;
- правильность задания стандартного запаса, достаточность его для согласования совместной работы операторов при переходе детали или изделия между операциями;
- количество переналадок оборудования. Данный критерий не является блокирующим, однако большое число переналадок может сигнализировать о недостаточной проработке участка и потере рабочего времени на вспомогательные операции;
- определение «узких мест», например, ситуаций, когда один из операторов не может выполнить очередную операцию ввиду того, что оператор с предыдущей операции не успел подготовить необходимые детали.

Участник и эксперт могут настроить период моделирования от одной смены до нескольких лет. Это необходимо для анализа различных аспектов работы участка.

По завершению моделирования система генерирует отчёт, содержащий сведения, необходимые для анализа эффективности построенной планировки.

В отчёте приводятся значения ключевых показателей работы участка и отображается список обнаруженных недочётов и «узких мест». Фрагмент такого отчета представлен на рис. 6.

Отчёт	
ⓘ	Общая продолжительность моделирования составляет 1.00:00:00
⚠	Суточный план для детали «Корпус» не может быть выполнен
⚠	Суточный план для детали «Стопор» не может быть выполнен
ⓘ	Количество изготовленных заготовок для детали «Втулка задняя» составляет 30 ед.
ⓘ	Количество изготовленных заготовок для детали «Корпус» составляет 100 ед.
ⓘ	Количество изготовленных заготовок для детали «Втулка переходная» составляет 40 ед.

Рис. 6. Фрагмент отчёта моделирования

В дополнение к отчёту по окончании моделирования система предоставляет возможность просмотра анимации работы участка. В процессе анимации демонстрируется движение материальных потоков, перемещение операторов между станками, стеллажами и рабочими местами, состояние оборудования, отображается прогресс выполняемых операций и количество обработанных деталей (изготовленной продукции).

Анимация является удобным и наглядным инструментом для общей оценки работы, определения ошибок; служит наглядным представлением результатов работы участников, позволяя им более полно и всесторонне погрузиться в тонкости работы участка, прочувствовать характер взаимодействия различных элементов производственной системы между собой. Фрагменты состояния участков в процессе анимации представлены на рис. 7.

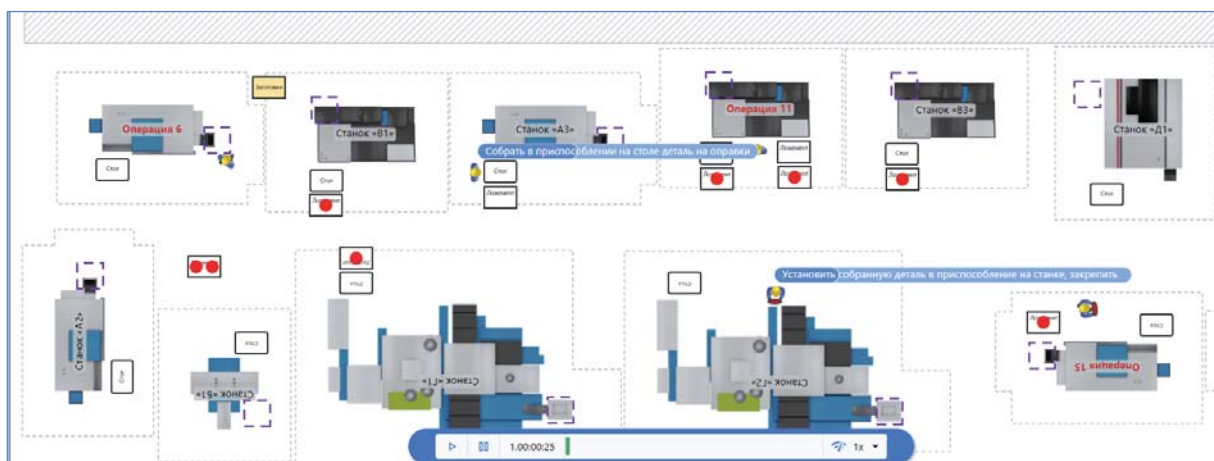


Рис. 7. Фрагмент анимации

Анализ результатов участников

Для контроля хода соревнования и проверки корректности выполненных участниками результатов в программном комплексе имеется несколько средств.

Первое – турнирная таблица. На ней эксперты видят какие задания выполнила каждая из команд. Также в турнирной таблице отображаются баллы, выставленные участникам в целом и в разрезе отдельных участков. После выполнения командой

определённого задания эксперт проверяет его и устанавливает специальный маркер, удостоверяющий, что задание выполнено. Этот маркер затем переносится в турнирную таблицу.

Другим средством контроля является лист оценки команды (рис. 8). Он представляет собой чек-лист из критериев и показателей. Критерии – обязательные пункты, которые команды должны выполнить. Без них работа не может быть засчитана. Примером критерия может являться выполнение всех требований к планировке. Показатели же определяют, насколько хорошо была построена планировка исходя из объективных значений. Примером простого показателя может быть количество операторов в смену. Если и более сложные показатели, которые система рассчитывает автоматически. Для определения наиболее сложных, например, возможности выполнения производственного плана – автоматически запускается и проводится имитационный эксперимент. На основании конфигурации система автоматически выставляет участникам баллы. В зависимости от ситуации эксперты могут изменить установленные системой баллы, если того потребует ход обучения (соревнования).

Разрабатываемый участок		Заготовительный участок				
Название команды		Команда А				
Критерий	Баллы	Результат	Списано	Начислено		
Раздел 1 "Оборудование и персонал"						
Отсекающий критерий - Режим работы участка установлен (да\нет)		да ▼				
Отсекающий критерий - Все заготовки закреплены за оборудованием. Суточный темп по каждой заготовке определен и достаточен для выполнения требований заказчика (да\нет)		да ▼				
Отсекающий критерий - Требования к планировке соблюдены (да\нет)		нет ▼				
Количество возвратов на доработку по данному разделу	-10	2	-20			
Итого за раздел 2			-20			
Раздел 3 "Показатели участка"						
Режим работы участка, смен	1	1		1		
Количество оборудования на заготовительном участке	-5	5	-25			
Численность операторов в смену	-20	3	-60			
Площадь участка, м²	-0.1	316.16	-31.616			
Итого за раздел 3			-115.616			
Итого			-135.616			

Рис. 8. Фрагмент листа оценки заготовительного участка

Организация обучения

Процесс обучения (состязания) должен соответствовать уровню участников. В противном случае вероятны ситуации, когда отдельные части задания окажутся слишком простыми, или, наоборот, будут не выполнены участниками или выполнены с большим количеством ошибок. Система позволяет настроить каждое соревнование независимо от других. Для этого для каждого участка разработан раздел конфигурации, с помощью которого организаторы могут усложнить или упростить задание путём добавления или удаления определённых элементов, станков или других составных частей планировки. Конфигурации поддаются не все этапы и правила, но список возможных доработок достаточно велик.

Пример формирования эталонного техпроцесса в конфигурации участка представлен на рис. 9.

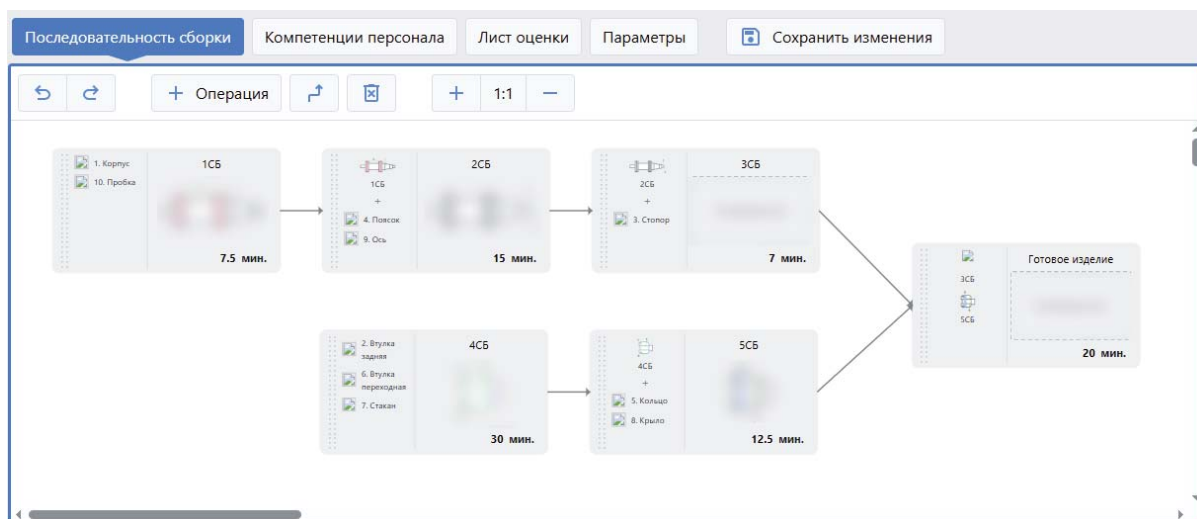


Рис.9. Пример формирования эталонного техпроцесса в конфигурации участка

Помимо специфических настроек, для каждого участка организаторы могут устанавливать общие критерии оценки, в частности, задавать штрафные баллы за невыполнение участниками тех или иных требований. И наоборот, устанавливать поощрения за эффективно выполненные задачи.

Перспективы использования

Разработанное решение базируется на платформе, которая имеет гораздо больший потенциал. Инструмент не ограничен работой представленных участков. При его разработке закладывались возможности добавления новых и расширения функций в рамках имеющихся участков. В связи с этим, у данного решения есть несколько естественных направлений развития. С точки зрения процесса обучения, появляется возможность добавления новых участков для расширения обучающей программы на новые виды производств. Каждый из имеющихся участков, при этом, может быть детально проработан для формирования у участников (обучающихся) более глубоких знаний и навыков формирования планировочных решений.

Вторым направлением развития инструмента является его использование для решения задач реального проектирования производственных решений. Этому будет способствовать расширение расчетной части по участкам, унификация процесса формирования планировки, добавление обычных и оптимизационных серий экспериментов, для определения наилучших вариантов реализации планировок производственных участков.

Заключение

Имитационное моделирование находит применение во многих отраслях науки и техники. Но немаловажно и то, что оно применимо на различных этапах этой деятельности. Представленный в статье программный инструмент наглядно показывает, как имитационное моделирование может помочь в организации процесса обучения.

С помощью разработанного комплекса программ удалось организовать процесс обучения специалистов навыкам построения планировок производственных участков, а также, организации и проведения соревнований между несколькими группами (командами) участников.

Используемые подходы и инструменты позволили автоматизировать большую часть действий команд участников по формированию планировок участков. Это достигается за счет предоставления участникам специализированных форм, редакторов планировок и помощников, устраняющих рутинные и склонные к ошибкам действия.

Разработанные имитационные модели являются необъемлемой частью комплекса и служат для динамической проверки результатов работ участников, контроля соответствия разработанных планировок установленным правилам, проверке возможности выполнения производственной программы и обнаружения «узких мест».

Литература

1. Фабрика по разработке оптимальных планов производства [Электронный ресурс] // PS&P Technologies. URL: <https://pspt.ru/news/tpost/yxavvsmz11-fabrika-po-razrabotke-optimalnih-planiro> (дата обращения: 12.09.2025).
2. О Госкорпорации «Росатом» [Электронный ресурс] // Росатом : официальный сайт. — URL: www.rosatom.ru/about/system (дата обращения: 12.09.2025).
3. **Девятков В.В., Девятков Т.В., Федотов М.В.** GPSS Studio: первый шаг к новым технологиям имитационных исследований [Электронный ресурс] // Труды Восьмой всероссийской научно-практической конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2017) (г. Санкт-Петербург, 18-20 октября 2017 г.). СПб.: Изд-во ВВМ, 2017. С. 239-243.
4. **Девятков В. В.** Методология и технология имитационных исследований сложных систем: современное состояние и перспективы развития: Монография. – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2014. – 448 с.
5. **Шрайбер Т. Дж.** Моделирование на GPSS Пер. с англ. В. И. Гаргера, И. Л. Шмуйловича под ред. М. А. Файнберга. - М.: Машиностроение, 1980. - 592 с..
6. Реестр программного обеспечения «Платформа имитационного моделирования Alina GPSS» [Электронный ресурс], – Режим доступа: https://reestr.digital.gov.ru/reestr/305965/?sphrase_id=965110.