



Ключевые слова:
система управления производством, мониторинг, время полезной работы, организационный простой оборудования, матрица потерь

НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ «НАВИМАН» НА ПРЕДПРИЯТИЯХ КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Радислав БИРБРАЕР, Дмитрий КУРЛОВ, Марат ХАЗИЕВ

Представлена разработанная компанией «Солвер» система навигационного управления производством «Навиман». Описан процесс внедрения системы на предприятиях АО «НПО Энергомаш» с целью повышения уровня времени полезной работы оборудования за счет устранения организационных и технологических простоев.

Известны многочисленные яркие истории, связанные с большинством специалистов предприятий, связанные с низкой эффективностью производственных процессов. Но очень редко эти истории бывают подкреплены неоспоримыми «цифровыми фактами», и совсем нечасто эти факты создают основу для направленных действий по улучшению процессов и росту производительности труда.

Производство в машиностроении – очень сложная и консервативная система отношений технологического оборудования и людей, которую улучшить совсем непросто, а испортить – легко. Нужны выверенные процедуры таких улучшений. Исторически компания «Солвер» ориентирована на оптимизацию производственных систем машиностроительных предприятий: хорошо известна ее методология «Три проекта», подробно описанная в популярной книге «Основы инженерного консалтинга». Разработанная в «Солвер» система навигационного управления производством «Навиман» (от «Naviman» – NAVigation for MANufacturing) – это, по существу, новое цифровое предложение в русле известной методологии для повышения эффективности производства.

Компания «Солвер» в августе 2016 года приступила к реализации масштабного проекта по оснащению системой «Навиман» ведущих отечественных предприятий-производителей ракетных дви-

гателей для освоения космоса, входящих в интегрированную структуру АО «НПО Энергомаш» (г. Химки).

После установки «Навиман» на 120-ти единицах технологического оборудования, первые результаты цифрового мониторинга показали, что в среднем время полезной работы «со снятием стружки» составляет не более 40% от общего фонда. Все остальное время (60%!) занимали остановки оборудования по различным организационным и технологическим причинам. Основным целевым показателем проекта был установлен уровень времени полезной работы оборудования в 75%, характерный для большинства эффективных производств. Решение этой задачи на старте казалось нереализуемым, так как находились «веские аргументы» менеджеров предприятий в поддержание сложившихся производственных практик. И здесь трудно переоценить роль первых лиц предприятий, как правило, только при их активном участии можно добиться положительной динамики в достижении установленного целевого показателя.

Первые признаки положительной динамики проявились спустя месяц (обычный срок для получения первого эффекта), в течение которого операторы станков начали регулярно в автоматизированном режиме фиксировать на специальных про-



Рис. 1. Фиксация причин остановов оборудования операторами (а, в, г); анализ элементов потерь времени начальником цеха (б)

мышленных планшетах, удобно закрепленных на станках, причины организационных остановов оборудования по трем видам потерь времени: «Регламентированные», «Нерегламентированные» и «Неопределенные» (рис. 1 а, в, г). При этом, начальник каждого цеха анализировал элементы данных видов потерь времени на сводном экране состояний (рис. 1б) и давал свои конкретные предложения по их возможному сокращению. Данные предложения регулярно обсуждались на Управляющих советах проекта с активным участием директоров предприятий.

Наилучшие решения закреплялись регламентами, исполнение которых исключало, например, такой вид потерь времени полезной работы, как многочасовой прогрев шпинделя станка или неоправданно длительную настройку инструмента. А чего стоили «неожиданно» обнаруженные запасы

полезного времени, возникающие из-за сокращения «привычного» времени на уборку стружки и т.д.

В системе «Навиман» настроено меню для указания оператором видов потерь, характерных для большинства российских предприятий, но в нем можно отразить и индивидуальные особенности для конкретного цеха или конкретного станка. При этом, нельзя увлекаться неконтролируемым расширением этого меню. Практика показала, что здесь отлично действует принцип Парето – акцент на 20% от общего количества элементов потерь дает 80% результата по общему сокращению времени организационных простоев оборудования (рис. 2).

Параллельно в автоматическом режиме шло считывание с каждой стойки ЧПУ оборудования всех цифровых параметров обработки деталей по конкретным сменно-суточным заданиям – полный контроль элементов времени полезной работы. И эта информация, в частности, позволила оценить эффективность некоторых управляющих программ – исключить обработку «по воздуху», а не по металлу. Собрав, таким образом, контролируемую информацию (из автоматически формируемых в системе отчетов) по структуре времени полезной работы и по времени остановов оборудования и используя эту информацию для направленного систематического управления изменениями, можно добиться реального движения к достижению принятого целевого показателя (75% времени полезной работы оборудования) уже за несколько месяцев (рис. 3).

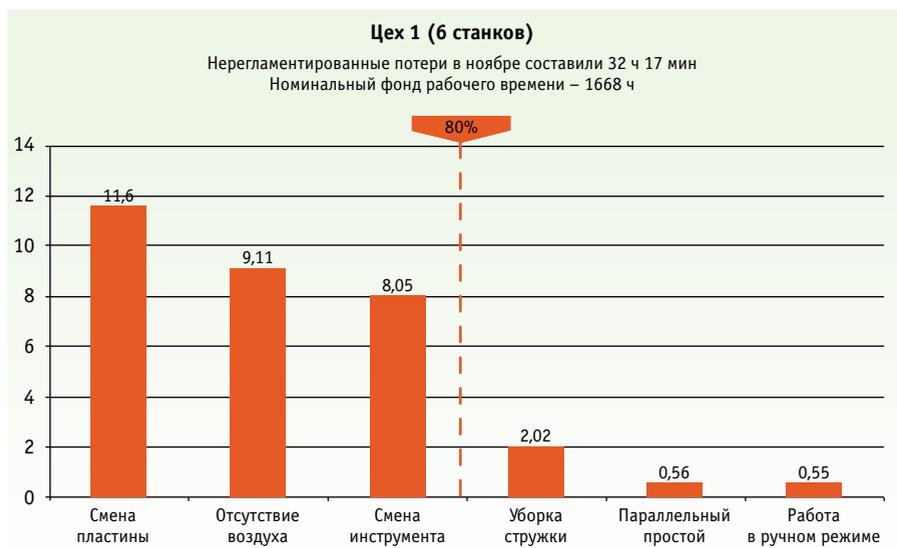


Рис. 2. Причины и анализ простоев оборудования

Очень важно постоянно накапливать в системе не только данные по всем контролируемым элементам потерь времени полезной работы каждой единицы оборудования, но и связывать с этими данными принятые организационные решения по снижению этих потерь. В системе «Навиман» такой формат данных содержится в виде «Матрицы потерь» (рис. 4 а). Этот важнейший цифровой документ содержит накопленные практически конкретные решения по снижению потерь производительности оборудования на предприятии. Прони-

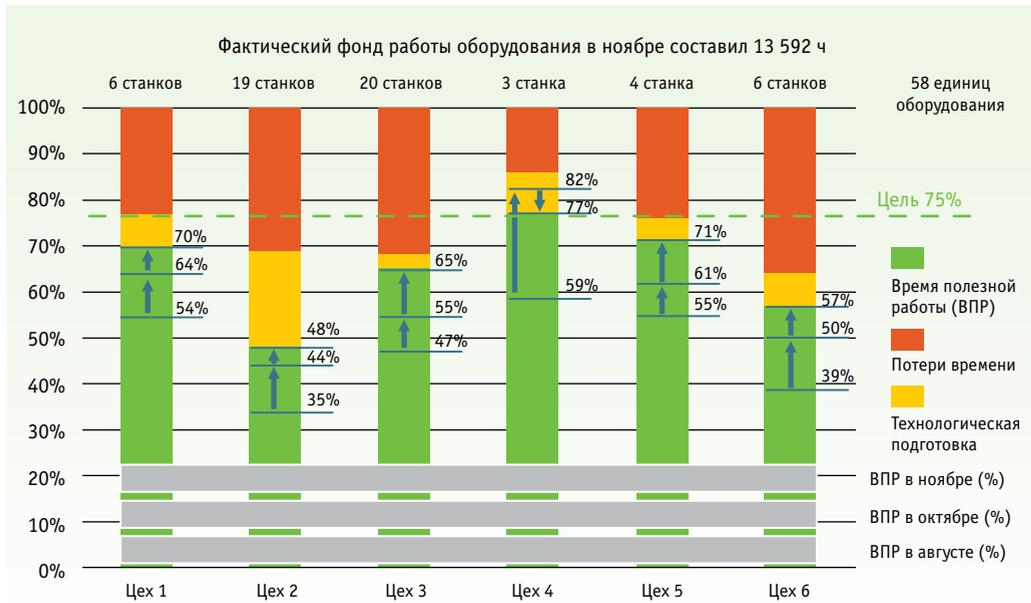


Рис. 3. Анализ эффективности использования оборудования в ноябре 2016 года

кая «одним кликом» на экране компьютера рабочего места менеджера производства вглубь ячейки «Матрицы потерь» (ячейки «модель потери времени»), можно наглядно анализировать фактические изменения значения данного элемента потерь времени в контролируемом периоде работы и оценить влияние конкретных организационных решений, обеспе-

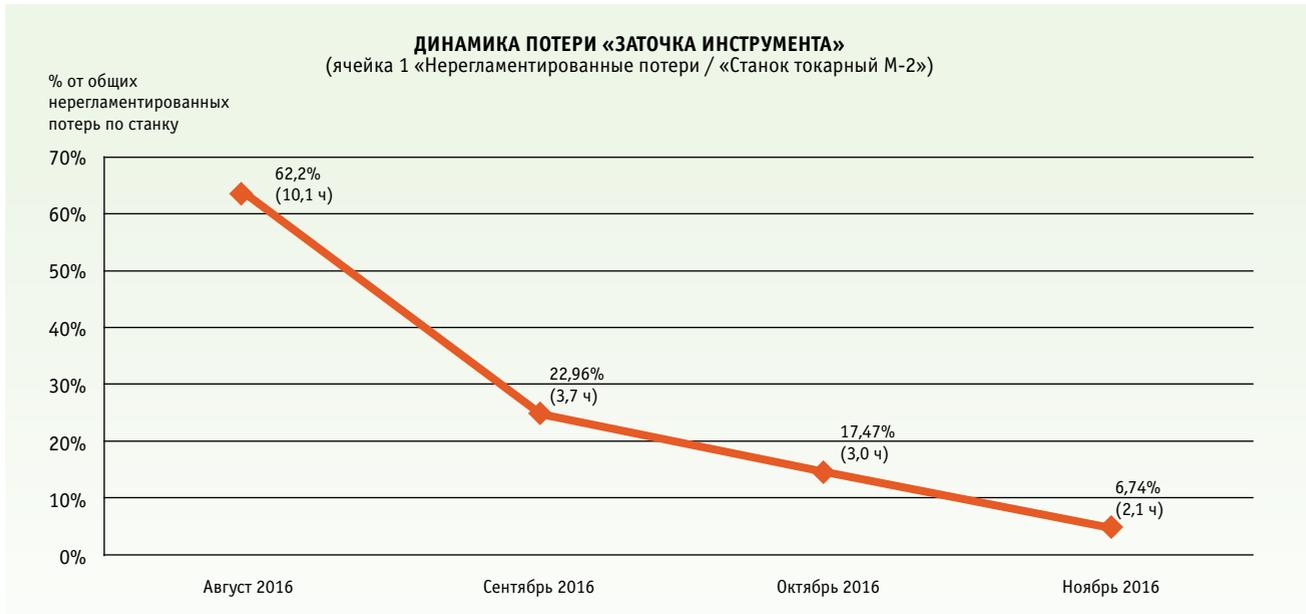
Цех	Оборудование	Потери													Технологическая подготовка												
		Регламентированные						Нерегламентированные						Неопределенные													
		Краткосрочные остановки	Ежедневная уборка	Еженедельная уборка	Ежемесячная уборка	Прогрев оборудования	Перегрев оборудования	Регламентированный отдых	Санитарный день	Регламентированные работы ОТМ	Установка инструмента	Смена пластины	Аварийный ремонт	Составление УП	Поиск программы	Редактирование УП	Доработка	ЖДУ кран	Залив СОЖ	Заточка инструмента	Параллельный простой	Получаю заготовки	Получаю инструмент	Расточка кулачков/оправки	Уборка стружки	Остановы	
12	6 единиц							15%																		6%	7%
	Станок токарный 280-1																										
	Станок токарный 280-2																										
	Станок токарный 220-1																										
	Станок токарный 220-2																										
	Станок токарный 2100-1																										
	Станок токарный 2100-2																										
21	19 единиц							15%																		3%	23%
	Станок токарный 85 x 150																										
	Станок токарный М-1																										
	Станок токарный М-2																										
	Станок токарный М-3																										
	Станок токарный N300-1																										
	Станок токарный N300-2																										
	Станок токарный N300-3																										
	Станок токарный N300-4																										
	Станок токарный 220А-1																										
	Станок токарный 220А-2																										
	Станок токарный 220А-3																										
	Станок токарный 220А-4																										
	Станок токарный 220А-5																										
	Станок токарный N300																										
	Станок токарный 250																										
	Станок токарный 800																										
	Станок токарный 400																										
	Станок токарный 80																										
	Станок токарный 400																										
	Станок токарный 1150V																										
22	22 единицы							9%																		3%	4%
23	3 единицы							5%																		1%	14%
33	4 единицы							9%																		3%	7%
36	8 единиц							16%																		2%	8%

Рис. 4. Матрица потерь времени полезной работы оборудования

чивающих это снижение потерь времени (рис. 4, 5 а, б).

На этом этапе большое значение приобретают решения, формируемые созданной совместной проектной группой, в которую входят специалисты «Солвер» и предприятия. В «Матрицу потерь» попадают только

отобранные Проектной группой решения. В дальнейшем, после завершения проекта, «Матрица потерь» должна стать основой создания технических регламентов минимизации потерь времени полезной работы технологического оборудования. Ее наполнение данными тоже является предметом отдельного регламента.



Организационные мероприятия по снижению потери «Заточка инструмента»

1. Приобрести, смонтировать в цехе и запустить в эксплуатацию сверлозаточный станок для оперативной заточки сверл.
2. Принять на работу в цех 2 на открытую вакансию заточника для переточки режущего инструмента.
3. Организация централизованной переточки.

а



Организационные мероприятия по снижению потери «Прогрев оборудования»

1. Обеспечить прогрев оборудования до рабочей смены в соответствии с паспортом станка.

б

Рис. 5. Анализ и оценка влияния организационных решений, обеспечивающих снижение потерь (а, б)

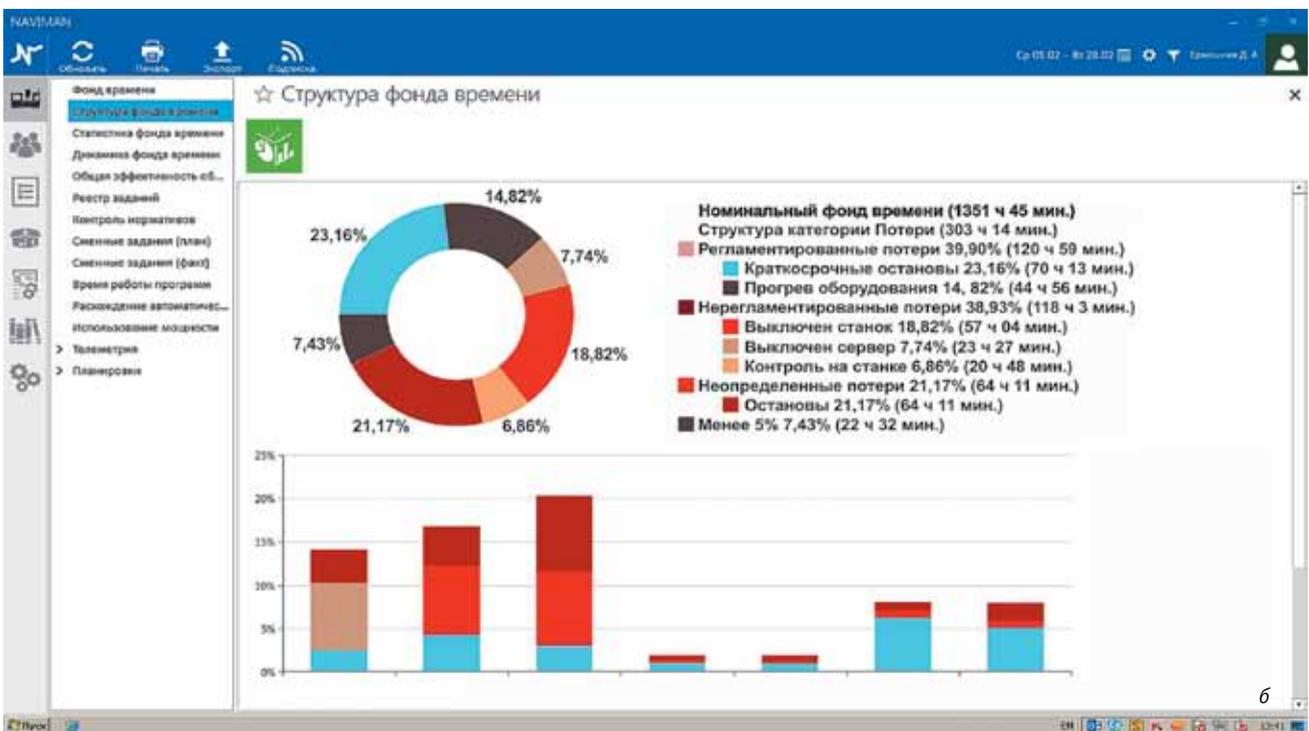
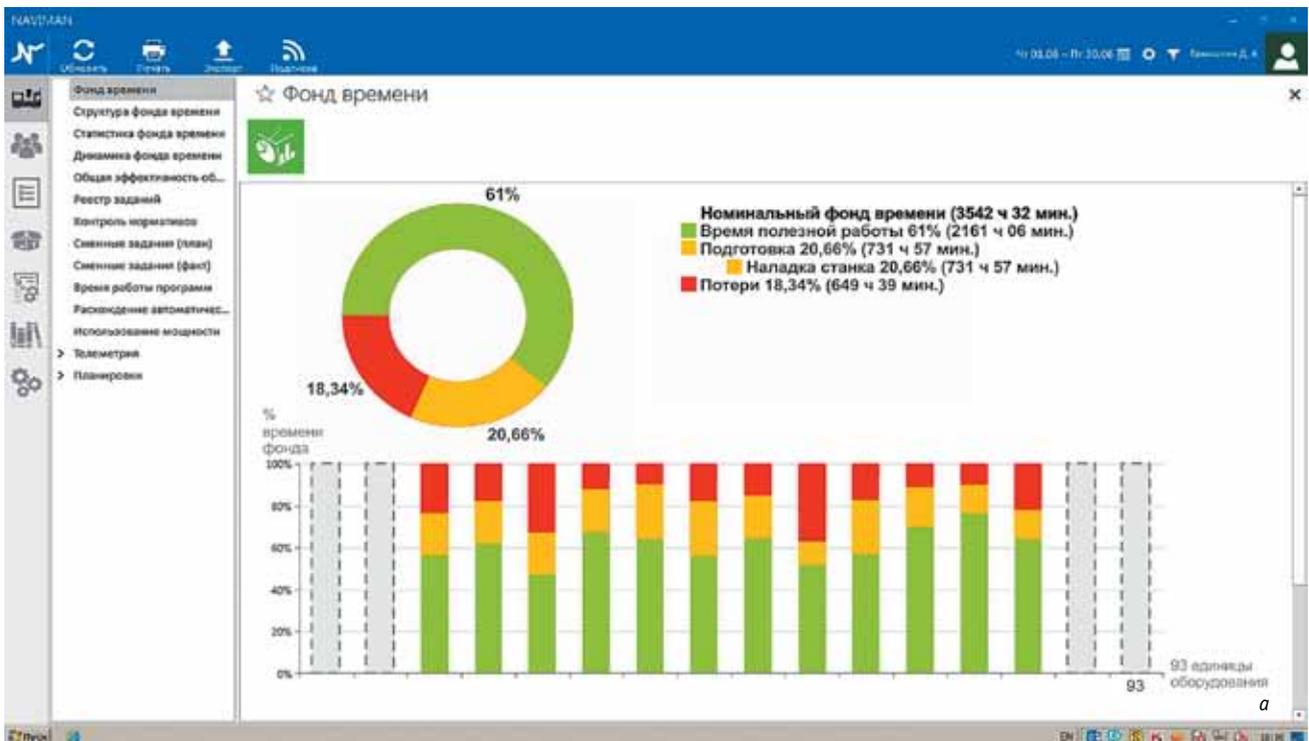


Рис. 6. Отчет, сгенерированный в системе «Навиман»: а – фонд времени работы оборудования на заданный период, б – детализированная структура по видам потерь времени

Система «Навиман» позволяет получать данные и формировать различные необходимые виды отчетов. Наиболее наглядный вид отчета – «Фонд времени» – приведен на рис. 6 а. Это

отчет за май 2017 года для 93-х единиц оборудования, который показывает структуру фонда времени работы оборудования за заданный период:

- средний процент времени полезной работы оборудования (61% – зеленый цвет);
- средний процент потерь времени на организационные остановы (21% – красный цвет);
- средний процент затрат времени на технологическую (наладочную) подготовку оборудования (18% – желтый цвет).

В отчете на рис. 6 б «красные потери» детализированы по видам:

- регламентированные потери – 40%;
- нерегламентированные – 40%;
- неопределенные – 20%.

На основе такого детализированного отчета становятся понятны направления организационных решений по снижению потерь: за счет устранения элементов нерегламентированных и неопределенных статей, которые, как видно, составляют больше половины общей величины «красных потерь». Таким образом, они могут быть сокращены с 21% (рис. 6 а) до 9%. Тогда «зеленое время» полезной работы возрастет на эти устраненные 12% потерь с 61 до 73%. Понятно, что не всегда удается полностью исключить нерегламентированные и неопределенные потери, но к этому необходимо, безусловно, стремиться.

Для удобства наглядного анализа может быть представлена реальная картина состояния оборудования в реальном времени на планировке цеха, где каждый станок окрашен в соответствующий цвет текущего состояния его загрузки с указанием процентов «зеленого-красного-желтого» за истекший заданный период (месяц, неделю, день).

В данном проекте основными действующими лицами стали начальники участков, начальники цехов, цеховые технологи. Начальник участка формирует в системе сменно-суточное задание для каждой единицы оборудования, назначает исполнителя задания (исполнитель автоматически «привязывается» к соответствующему станку), определяет приоритеты исполнения производственного задания и отправляет информацию по сети на планшеты «Навиман», которыми оборудовано каждое станочное рабочее место. Система управляет подачей управляющих программ на ЧПУ-стойки станков. На экран планшета может передаваться маршрутная и операционная технология, чертежи деталей, инструкции по технике безопасности и т.д. Обратная связь от оператора станка, кроме указанной выше информации об остановах, сигнализирует о сроках и объемах выполнения сменного задания. Появляется реальная возможность построить действенные интерфейсы «Навиман» с системой производственного планирования. Такая задача в настоящее время реализуется в НПО «Энергомаш» при внедрении отечественной системы управления ресурсами предприятия «Галактика».

За счет постоянного активного контроля работы оборудования и персонала в системе «Навиман», рост времени полезной работы 93-х наиболее ответственных единиц современного оборудования с ЧПУ в годовом исчислении достиг и поддерживается на уровне 40 200 ч (это рост с 44 до 70%). Конечно, это стало возможным только при постоянно действующем контроле производства в системе «Навиман» и правильном использовании новых принципов мотивации персонала всех уровней, работающего с этой системой.

В ситуации, когда появился столь существенный свободный ресурс производственной мощности, была поставлена задача его безусловного использования. Проектная группа проанализировала номенклатуру деталей, производимых на устаревших универсальных станках НПО «Энергомаш». Перевод техпроцессов с этого универсального оборудования на современные станки с ЧПУ привел к сокращению машинного времени обработки в разы – от двух до семи раз по разным группам деталей. Появилась возможность реального высвобождения из производственных циклов до 72 устаревших универсальных станков с дозагрузкой их производственной номенклатурой 67 имеющихся современных станков с ЧПУ (рис. 7).

При этом будет возможно сокращение непроизводительно работающего персонала в количестве 108 чел. (станочников-универсалов) и экономия по фонду заработной платы до 85 млн руб. в год.

Достигнутый уровень времени полезной работы в 70% от общего фонда обеспечен управляющими действиями по минимизации «красных» потерь на организационные остановы, однако это не исчерпывает все возможности роста «зеленого» времени. На следующем этапе проекта активизируется новая функция системы «Навиман», не имеющая мировых аналогов. Эта функция адресно направлена на минимизацию затрат времени на технологическую настройку оборудования (наладки на каждую деталь и переналадки при смене номенклатуры деталей). В НПО «Энергомаш» в бюро труда и зарплаты (БТЗ), как и на других машиностроительных предприятиях, хранятся гигантские архивы «нормативов времени» на выполнение операций технологических процессов для всей огромной номенклатуры изделий. И если за время операций обработки деталей отвечают запрограммированные цифровые инструкции в компьютерной стойке станка, то за «желтое» время операций технологических настроек отвечают только руки и навыки оператора. Нормативы на время технологических настроек традиционно определяются хронометрическим фиксированием конечного времени этих ручных операций без возможности содержательного анализа его оптимальности.

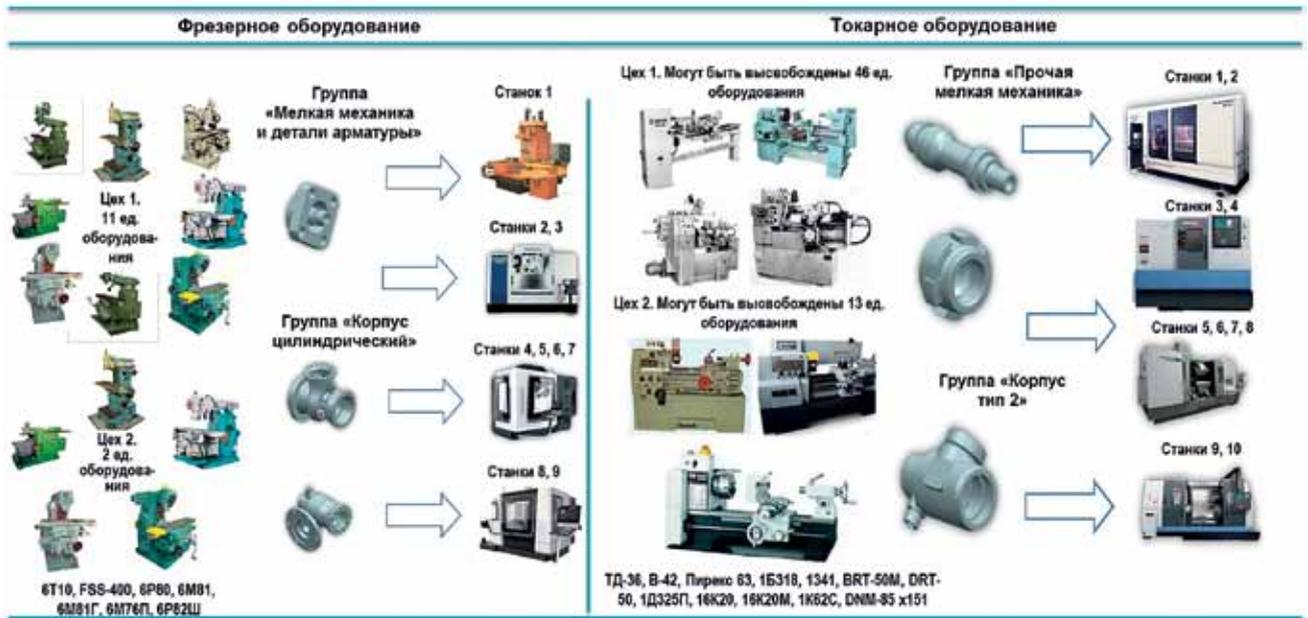


Рис. 7. Экономический эффект от внедрения системы «Навиман»

Система «Навиман» предоставляет возможность получить видеоизображение (видеоряд) процесса переналадки для каждой детали номенклатуры в процессе ее изготовления – операторы станков оснащены видеорегистраторами, встроенными в обычные защитные очки безопасности. Полученный видеоконтент операций переналад-

ки автоматически разбивается на дискретные шаги с визуальной информационной поддержкой и выделенным из контента реальным временем каждого шага. Таким образом, постепенно формируются цифровые инструкции для устойчивого выполнения любым оператором процесса переналадки на каждую номенклатурную позицию

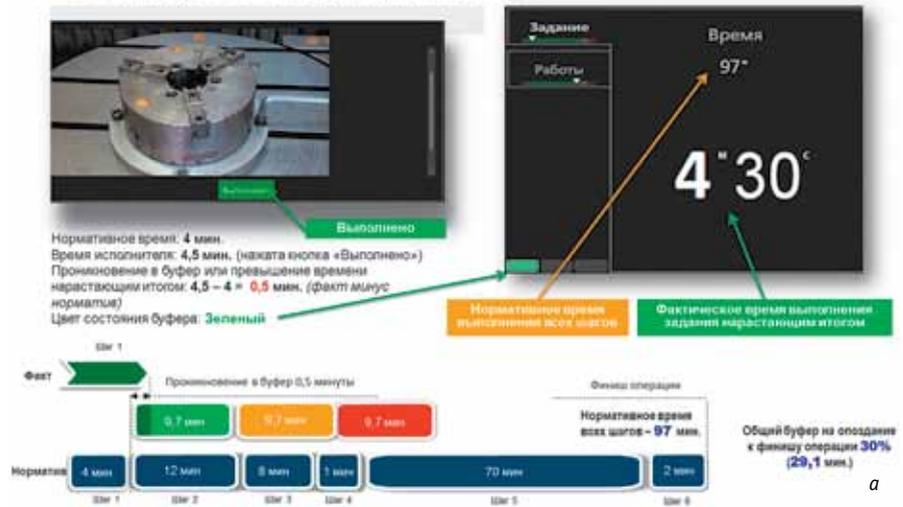


Рис. 8. Создание нормированного пошагового алгоритма технологической подготовки оборудования

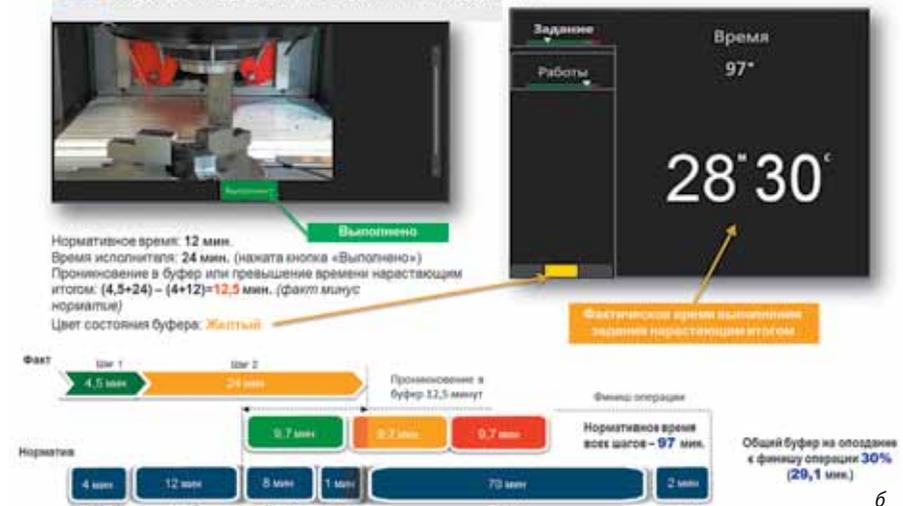
по всей производственной программе. По существу, это своеобразные «ЧПУ-программы действий», но не для станка, а для оператора. На рис. 8 приведена полученная цифровая инструкция для одной из деталей производственной номенклатуры. Понятно, что формирование таких цифровых инструкций необходимо организовать с привлечением наиболее квалифицированных, «эталонных» операторов-наладчиков. Это новый цифровой подход к нормированию операций. При таком современном цифровом подходе невозможно «слукавить» – при назначении времени исполнения того или иного шага процесса переналадки видеорегистратор даст объективную визуализацию и время каждого действия, а попытка «слукавить» будет выявлена при контрольном анализе цифровой видеоинструкции шага (намеренное замедление будет очевидным на визуализации и будет скорректировано повторной видеорегистрацией).

При выполнении плановых сменно-суточных заданий, поддерживаемых созданными цифровыми инструкциями библиотеки системы «Нави-ман» (см. рис. 8), оператор пошагово следует им с фиксацией выполнения каждого шага путем нажатия сенсорной кнопки «Выполнено» на экране промышленного планшета рабочего места (рис. 9 а, б, в). При этом, работающий алгоритм «буфера опозданий» (по известной теории ограниченной Элиаху Голдратта) покажет оператору на экране планшета степень ожидаемого на данном шаге превышения общего времени выполнения всей операции переналадки: зеленый буфер – превышение

Шаг 1. Снятие/установка/настройка приспособления



Шаг 2. Подготовка, установка и привязка инструмента



Шаг 6. Контроль первой детали

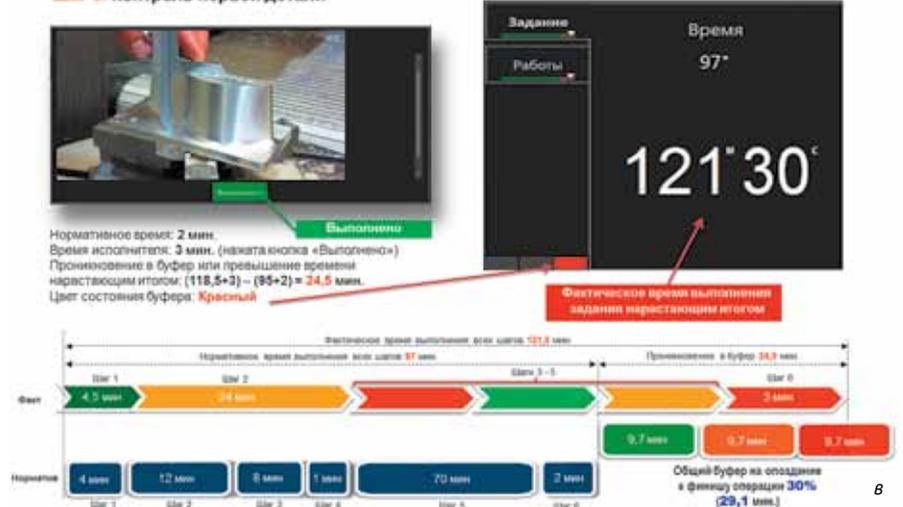


Рис. 9. Пошаговое выполнение оператором цифровой инструкции с контролем времени выполнения шагов: а – выполнение шага 1; б – выполнение шага 2; в – выполнение шага 6

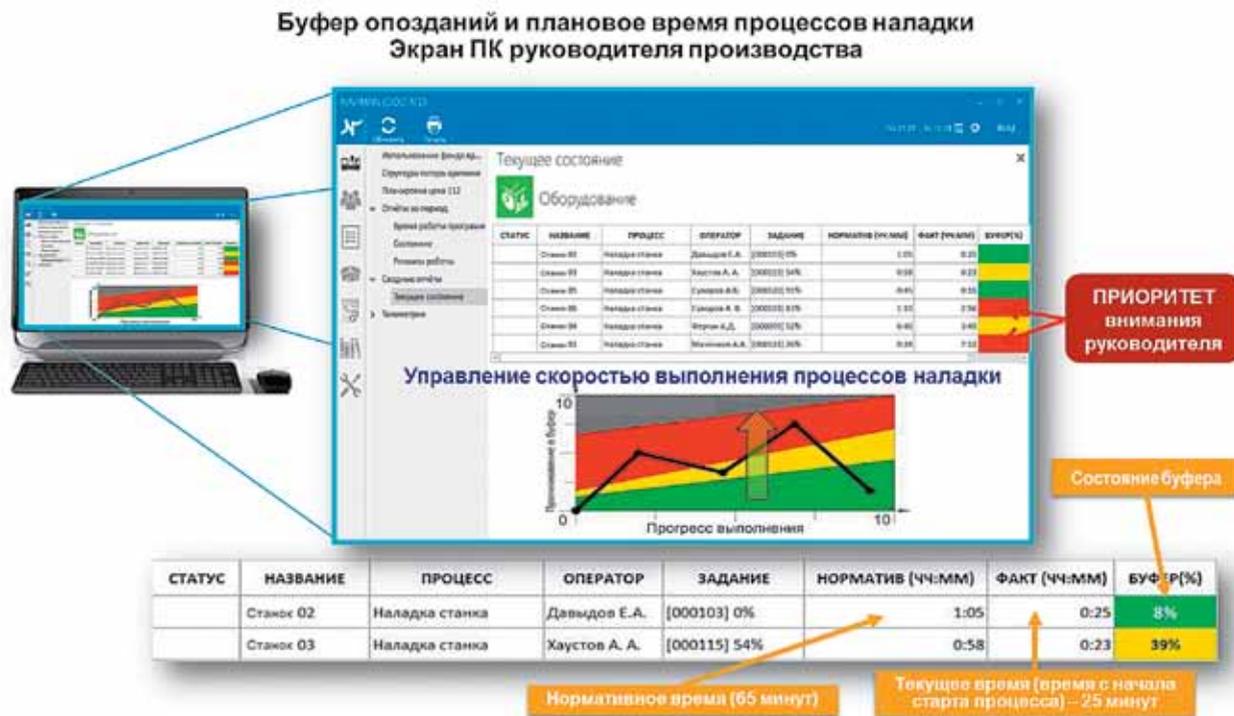


Рис. 10. Наладка и переналадка оборудования на рабочих местах оперативно контролируется начальниками участков и цеха в реальном времени с помощью визуализации буферов опозданий

на финише будет 10%, желтый – на 20%, красный – на 30%. По этим сигналам оператор может контролировать свои действия во времени (скорость работы на каждом шаге) и стараться завершить текущий или корректирующий опоздающий последующий шаг операции в зеленой зоне буфера опозданий, то есть в итоге не превысить установленный норматив времени выполнения всей операции переналадки (норматив «эталонного» оператора) больше, чем на 10%. Понятно, что желтый и красный цвета буфера опозданий на текущем шаге требуют от оператора значительного ускорения при выполнении действий последующих шагов, с тем, чтобы выйти на зеленый цвет. Таким образом, система «Навиман» имеет общие черты с автомобильным навигатором, рекомендующим скорость движения для своевременного прибытия в финишный пункт назначения, и поэтому получила название навигационной системы управления производством.

По мере накопления таких цифровых инструкций в библиотеке «Навиман» по всей номенклатуре деталей появляется реальная возможность существенной минимизации времени на технологическую подготовку оборудования. В дальнейшем начальники участков и цехов, пользуясь визуализацией «буферов опозданий», смогут оперативно контролировать наладку и переналадку на рабочих местах в реальном времени, не допуская «красных» опозданий непосредственно в процессе выполнения

работ (рис. 10), а сам оператор станка, воспользовавшись цифровой инструкцией в реальном времени, будет стабильно выполнять работу по переналадке в срок (оператору можно дать возможность изучить эти инструкции заранее – в процессе обучения).

За счет данного функционала системы «Навиман» время полезной работы оборудования на следующем этапе проекта может быть дополнительно увеличено на 20%: с уже достигнутых 70 до 90%, что будет соответствовать мировому уровню производительности труда. Кроме того, достигаемая цифровизация работы как оборудования (подготовка ЧПУ-программ в PLM-системах), так и оператора (пошаговые визуальные инструкции переналадки) позволяет повысить достоверность и исполняемость внедряемых на НПО «Энергомаш» информационных технологий производственного планирования в ERP «Галактика», а создаваемая цифровая экосистема предприятия становится действительно интегрированной.

Выводы

При разработке систем мониторинга состояния технологического оборудования следует делать акцент не только на аппаратной природе этих решений с пассивной иллюстрацией характеристик состояний (по этому пути идут конкуренты системы «Навиман»). Необходимо расширить функции

ОЦЕНКА ЧЛЕНАМИ ПРОЕКТНОЙ ГРУППЫ НОВОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ «НАВИМАН»



Сергей Егоров, начальник цеха НПО «Энергомаш»
– Я как раз в августе заступил на должность начальника цеха, и с первого дня мы этот проект в цехе реализуем. Поначалу, честно говоря, не понимал, для чего это нам нужно. Были споры внутри коллектива, боязнь нового. Но мы очень быстро оценили преимущества этой новации и одними из первых стали давать предложения по снижению потерь. Мне, как новому руководителю, стала интересна система. В свое время я работал на станках, и еще тогда внутренне понимал, где мы зря теряем время. По результатам мониторинга хотелось выявить уязвимые места, требующие первоочередного вмешательства – особенно в плане обеспечения производства, чтобы на момент переналадки на новую партию деталей у нас уже была готова необходимая оснастка и измерительный инструмент. Теперь, после внедрения системы, мы видим

необходимые отчеты. Ежедневно проводим совещания в режиме онлайн, я провожу их каждое утро с мастерами своего подразделения. И на них обсуждаем четко видимую картину: где произошли сбои в работе, видим их оцифрованные значения, оперативно решаем, где требуются поддерживающие меры, а где – усиление контроля.

Евгений Петков, начальник цеха «НПО «Энергомаш»
– Внедрение системы значительно упорядочило работу. Теперь, например, если оборудование по какой-то причине вышло из строя, то на основе сигналов о поломке в службу главного механика неисправность устраняется очень быстро. Если на станке осуществляется какая-то технологическая настройка, мы можем контролировать ее время и сравнивать его с действующими нормативами. Мы регламентировали время на отдельные виды остановов оборудования и контролируем в системе «Навиман» отклонение от этих регламентов. А такое понятие, как «зеленое» время полезной работы оборудования, стало центральным объектом обсуждения при анализе работы цеха. Мы в цехе на каждый станок повесили таблички, куда мастер ежедневно вносит «зеленые» показатели за предыдущий день. У одного оператора он составил, допустим, 75%, а у другого – 60%. И все понимают, что это доля полезного времени программной обработки деталей в смену, когда получаем готовую продукцию. Возникает элемент соревновательности, что стимулирует операторов к большей собранности, внимательности, сосредоточенности.

мониторинга в направлении возможности активного управления изменениями бизнес-процессов на предприятии для целенаправленного достижения роста производительности труда.

Мониторинг состояний оборудования не позволяет в полной мере обеспечить решения по увеличению времени его полезной работы. Необходимо включить в периметр мониторинга действия оператора и снабдить его современной цифровой поддержкой исполнения ручных операций переналадки с контролем выполнения им установленных нормативов по времени работы.

Практики инженерно-консалтинговой компании «Солвер» в оптимизации машиностроительных производств дополнены системой «Навиман», как эффективным инструментом управления производственными процессами в режиме реального времени.

Внедрение системы «Навиман» в НПО «Энергомаш» позволило в течение первого года ее работы увеличить время полезной работы оборудова-

ования с 44 до 70% от общего фонда. При этом возможен дальнейший рост времени полезной работы до 90% за счет использования функционала системы по навигационной цифровой поддержке работы операторов.

БИРБАЕР Радислав –

доктор технических наук, генеральный конструктор инженерно-консалтинговой компании «Солвер»

КУРЛОВ Дмитрий –

руководитель департамента «Системы навигационного управления производством» инженерно-консалтинговой компании «Солвер»

ХАЗИЕВ Марат –

заместитель руководителя департамента «Системы навигационного управления производством» инженерно-консалтинговой компании «Солвер»