

НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ «НАВИМАН» НА ПРЕДПРИЯТИЯХ КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Радислав БИРБРАЕР, Дмитрий КУРЛОВ, Марат ХАЗИЕВ, инженерно-консалтинговая компания «Солвер», Игорь АРБУЗОВ, «НПО ЭНЕРГОМАШ имени академика В.П. Глушко»

Большинству специалистов предприятий хорошо известны многочисленные яркие истории, связанные с низкой эффективностью производственных процессов. Но очень редко эти истории 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, улучшить которую совсем непросто, а навредить можно 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 «Солвере» 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 двигателей для освоения космоса, входящих в интегрированную структуру АО «НПО Энергомаш» (г. Химки).

После установки системы «Навиман» на 120 единицах технологического оборудования первые результаты его 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 поддержку 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 промышленных планшетах, удобно закрепленных на станках, причины организационных остановов оборудования по трем видам потерь времени: «Регламентированные», «Нерегламентированные» и «Неопределенные» (рис. 1а, в, г). При этом начальник каждого цеха анализировал элементы данных видов потерь времени на сводном экране состояний (рис. 1б) и давал конкретные предложения по их возможному сокращению. Эти предложения регулярно обсуждались на управляющих советах проекта с активным участием директоров предприятий.



Рис. 1

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, высвобождаемого, если, например, сократить «привычное» время 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 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

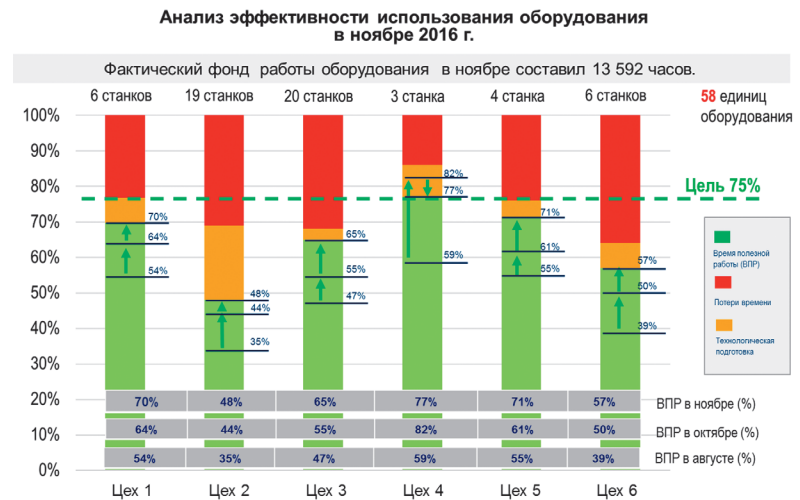


Рис. 3

автоматически формируемых в системе отчетов) по структуре времени полезной работы и по времени простоев оборудования и используя эту информацию для направленного систематического управления изменениями, можно добиться реального движения к достижению принятого целевого показателя («75%») уже за несколько месяцев (см. рис. 3).

Очень важно не только постоянно накапливать в системе данные по всем контролируемым элементам потерь времени полезной работы каждой единицы оборудования, но и связывать с ними принятые организационные решения по снижению этих потерь – в «Навимане» такой формат данных содержится в виде «Матрицы потерь» (рис. 4а). Этот важнейший цифровой документ

содержит накопленные практически конкретные решения по снижению потерь производительности оборудования на предприятии. Проникая «одним кликом» на экране компьютера рабочего места менеджера производства вглубь ячейки Матрицы потерь (ячейки «модель станка – элемент потери времени»), можно анализировать наглядную картину фактических изменений значения данного элемента потерь времени в контролируемом периоде работы и оценить влияние конкретных организационных решений, обеспечивающих это снижение потерь времени (рис. 4 б, в).

На этом этапе большое значение приобретают решения, формируемые созданной совместной проектной группой (специалисты «Солвера» 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. Работа с ее наполнением данными – тоже предмет отдельного регламента.

Система «Навиман» позволяет получать данные и формировать различные необходимые виды отчетов. Наиболее наглядный вид отчета «Фонд времени» приведен на рисунке 5а – это отчет за май 2017 года для 93 единиц оборудования. Отчет показывает структуру фонда времени работы оборудования за заданный период:

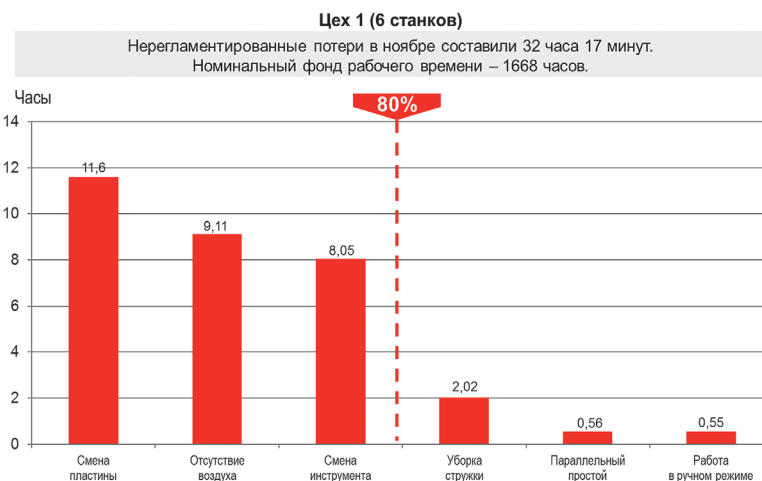


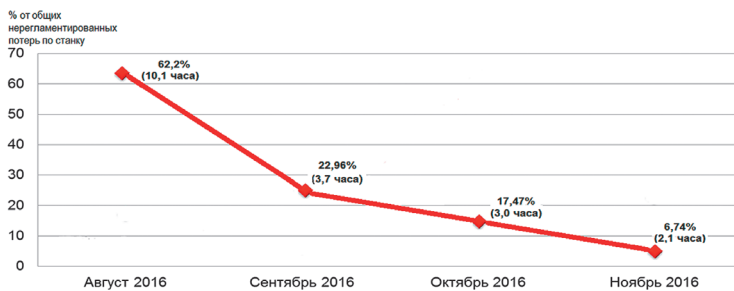
Рис. 2

МАТРИЦА ПОТЕРЬ
времени полезной работы оборудования

Цех	Оборудование	Потери														Остановы	Технологическая подготовка						
		Регламентированные					Нерегламентированные					Неопределенные											
		Крупсерийные в остальном	Ежедневная уборка	Ежемесячная уборка	Прогрев оборудования	Регламентированный отдых	Самостоятельный день	Регламентированные работы ОП	Установка инструмента	Смена пластин	Аварийный ремонт	Составление УП	Поиск программы	Редистрирование УП	Доработка	Жидкий СОЖ	Заточка инструмента	Параллельный простоя	Получение заготовки	Получение инструмента	Расточка кулачков/оборудования	Уборка стружки	
12	6 единиц	15%					2%					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%					12%					3%				23%							
	Станок токарный 85x150																						
	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 фрезерный 600																						
	Станок токарный 400																						
	Станок фрезерный 80																						
	Станок токарный 400																						
	Станок фрезерный 1150V																						
22	22 единицы	9%					23%					3%				4%							
23	3 единицы	5%										1%				14%							
33	4 единицы	9%					7%					3%				7%							
36	8 единиц	16%					4%					2%				8%							

Рис. 4 а

ДИНАМИКА ПОТЕРИ «ЗАТОЧКА ИНСТРУМЕНТА»
(ячейка 1 «Нерегламентированные потери» / «Станок токарный М-2»)



- 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.

Рис. 4 б

ДИНАМИКА ПОТЕРИ «ПРОГРЕВ ОБОРУДОВАНИЯ»
(ячейка 2 «Регламентированные потери» / «Станок токарный 220А-1»)



- Организационные мероприятия по снижению потери «Прогрев оборудования»**
1. Обеспечить прогрев оборудования до рабочей смены в соответствии с паспортом станка.

Рис. 4 в

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

В отчете на рисунке 5б «красные потери» детализированы по видам:

- регламентированные составили 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. 5а) до 9%. Тогда «зеленое время» полезной работы возрастет на эти устраненные 12% потерь (21%–9%=12%): с 61% (рис. 5а) до 73%. Понятно, что не всегда удается полностью исключить нерегламентированные и неопределенные потери, но к этому, безусловно, необходимо стремиться.

Для удобства и наглядности анализа в одном из «живых форматов» 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 (и исполнитель автоматически «привязывается» к соответствующему станку), определяет приоритеты исполнения производственного задания и отправляет информацию по сети на планшеты «Навиган», которыми обо-

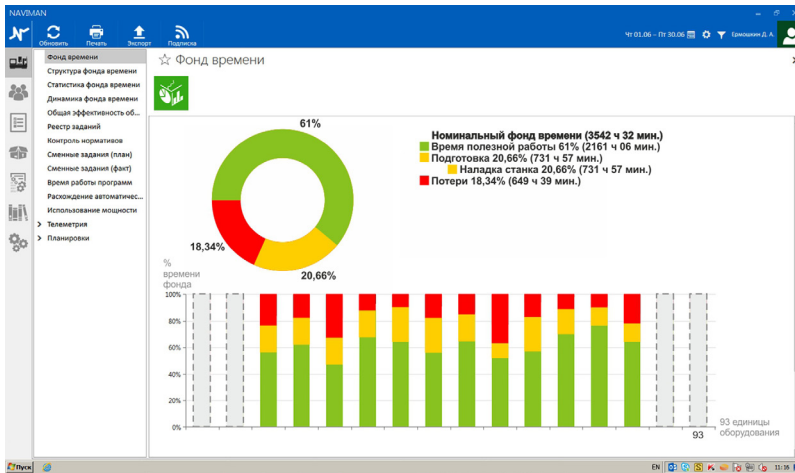


Рис. 5 а

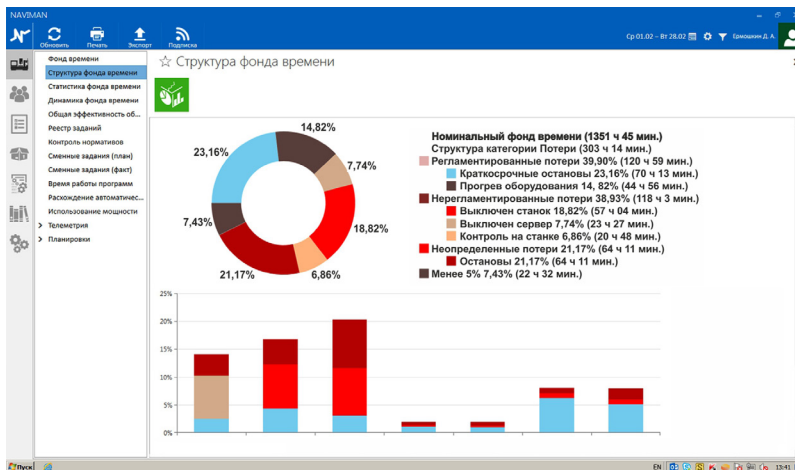


Рис. 5 б

рудовано 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-суточного задания. Появляется реальная возможность построить действенные интерфейсы «Навимана» 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 вре-

мени полезной работы 93 наиболее ответственных единиц современного оборудования с ЧПУ в годовом исчислении достиг и поддерживается на уровне 40200 часов (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 эффективного 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

сокращению машинного времени обработки в разы – от 2 до 7 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. 6).

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

Достигнутый уровень времени полезной работы в 70% от общего фонда обеспечен управляющими действиями по минимизации «красных» потерь на организационные остановки, однако это не исчерпывает всех возможностей роста «зеленого» времени. На следующем этапе проекта активируется 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 оптимальности этого времени.

Система «Навиман» предоставляет возможность получить видеозапись (видеоряд) процесса переналадки для каждой детали номенклатуры в процессе ее изготовления – операторы станков оснащены видеорегистраторами, встроенными в обычные защитные очки безопас-

Экономический эффект от внедрения системы «Навиман»

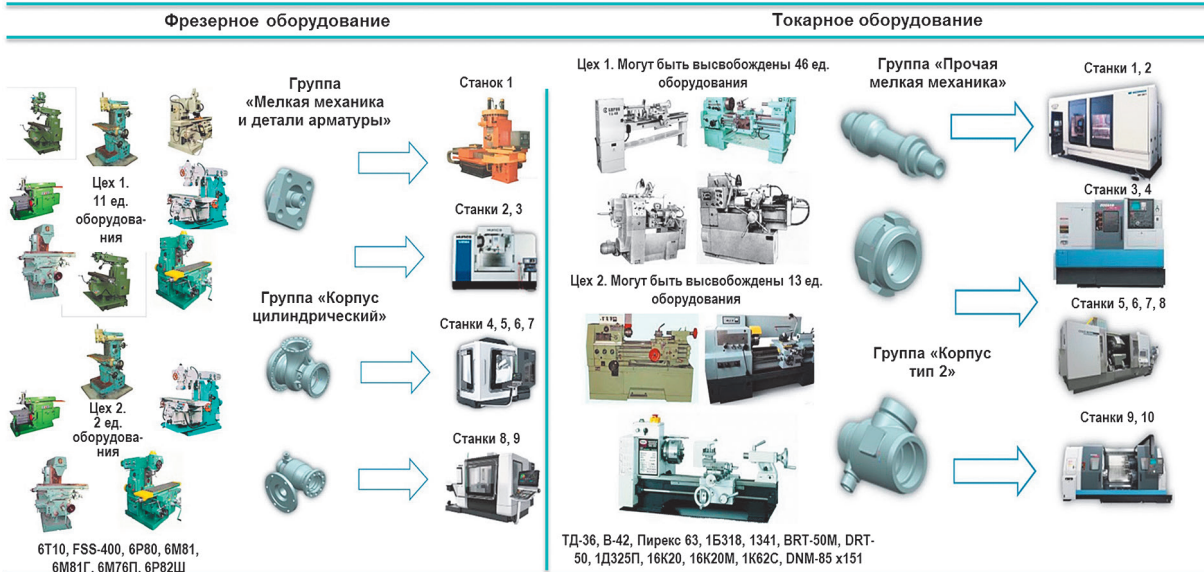


Рис. 6

ности. Полученные видео-контенты операции переналадки автоматически разбиваются на дискретные шаги с визуальной информационной поддержкой и выделенным из контента реальным временем каждого шага. Таким образом, мы постепенно получаем цифровые инструкции для устойчивого выполнения любым оператором процесса переналадки на каждую номенклатурную позицию по всей производственной программе. По существу, это своеобразные «ЧПУ-программы действий», но не для станка, а для оператора. На рисунке 7

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 «Навиман» (рис. 7), оператор пошагово следует им, фиксируя выполнение каждого шага нажатием сенсорной кнопки «Выполнено» на экране промышленного планшета рабочего места (рис. 8а, б, в). При этом работающий алгоритм «буфера опозданий» (по известной Теории ограничений Элиаху Голдратта) покажет оператору на экране планшета степень ожидаемого на данном шаге превышения общего времени выполнения всей операции переналадки: зеленый буфер – превышение 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 опоздание последующий шаг операции в зеленой зоне буфера опозданий, то есть, в итоге не превысить установленный

Создание нормированного пошагового алгоритма технологической подготовки оборудования



Рис. 7

Шаг 1. Снятие/установка/настройка приспособления

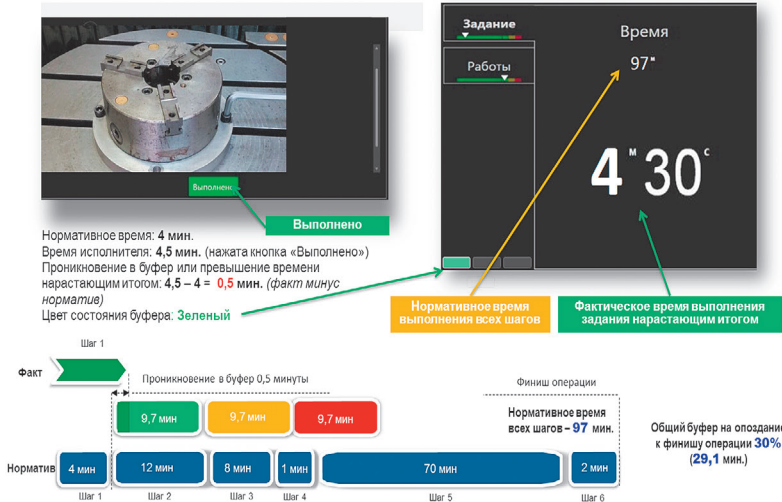


Рис. 8 а

Шаг 2. Подготовка, установка и привязка инструмента

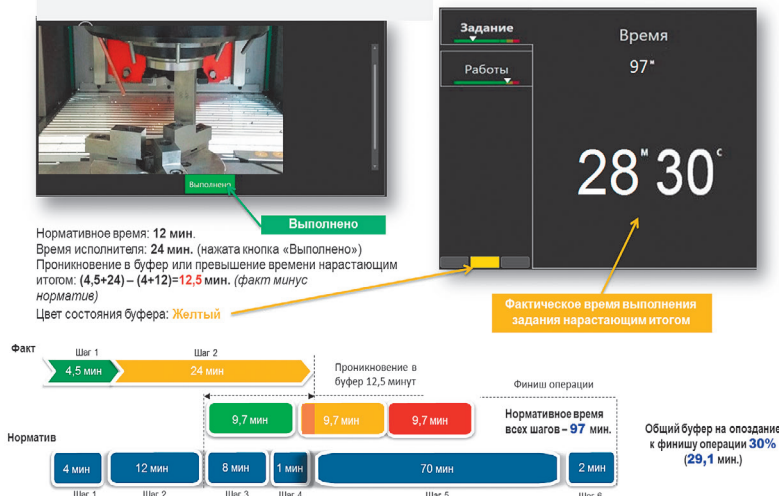


Рис. 8 б

Шаг 6. Контроль первой детали

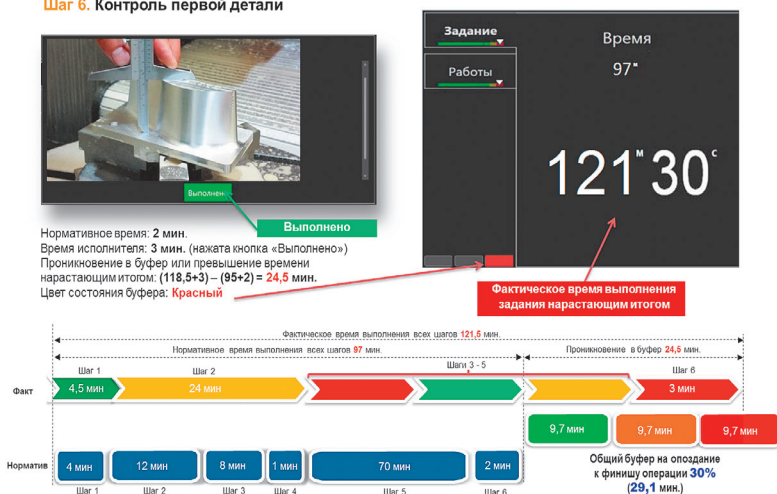


Рис. 8 в

норматив времени выполнения всей операции переналадки (норматив «эталонного» оператора) больше, чем на 10%. Понятно, что желтый и красный цвета буфера опозданий на текущем шаге потребуют от оператора значительного ускорения при выполнении действий последующих шагов с тем, чтобы выйти там на зеленый цвет. Таким образом, система «Навиман» имеет общие черты с автомобильным навигатором, рекомендуя 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 «Навимана» по всей номенклатуре деталей появляется реальная возможность 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. 9). 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 мировым уровням 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 исполнимость внедряемых на НПО «Энергомаш» информационных технологий производственного планирования в ERP «Галактика», а создаваемая цифровая эко-система предприятия становится действительно интегрированной.

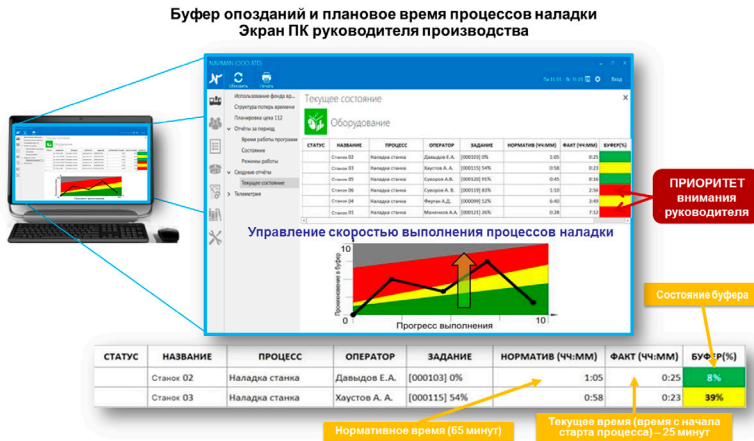


Рис.9

Интересно привести мнение членов проектной группы по поводу их отношения к новой производственной системе «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 нам это 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 на станках работал, и еще тогда внутренне понимал, где мы попросту зря теряем время. Хотелось по результатам мониторинга 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 мерительный инструмент. Теперь после внедрения системы мы видим необходимые отчеты. Ежедневно проводим совещания в режиме онлайн, я провожу их 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, 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 это 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 «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 про-

граммной обработки деталей в смену, когда получаем готовую продукцию. Возникает элемент соревнования, что стимулирует операторов к большей собранности, внимательности, сосредоточенности».

Выводы

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

2. 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.

3. Системы мониторинга состояний оборудования и персонала должны быть интегрированы в системы производственного планирования, для которых необходимо доставлять максимально достоверные данные о трудоемкости операций и фактах их исполнения.

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

5. Внедрение системы «Навиман» в НПО «Энергомаш» позволило в течение первого года ее работы увеличить время полезной работы оборудования 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. ■