

УДК 004.056

АРХИТЕКТУРА ПРЯМОГО СБОРА ОПЕРАТИВНЫХ ДАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО УЧАСТКА В ERP-СИСТЕМУ БЕЗ ПРОМЕЖУТОЧНОГО MES-УРОВНЯ

Почечуева С.М., студент гр. 4416, 4 курс

Научный руководитель: Сабитов Р.А. к.т.н., старший научный сотрудник, доцент

¹ Казанский национальный исследовательский технический

университет им. А.Н. Туполева – КАИ

г. Казань

В условиях современной цифровой трансформации промышленного сектора ключевым активом предприятий становится не только наличие автоматизированных систем планирования, но и скорость получения достоверных данных о ходе производственных процессов. Корпоративные информационные системы класса ERP (Enterprise Resource Planning) стали стандартом для управления ресурсами механизированных производств, обеспечивая интеграцию финансовых, материальных и человеческих ресурсов. Однако, несмотря на высокую степень автоматизации управленческого звена, непосредственное исполнение технологических операций рабочими на производственных участках часто остается невидимой частью для ERP-контуров.

Существующая практика цифровизации оперативного учета предполагает использование промежуточного слоя в виде систем класса MES (Manufacturing Execution System). основополагающей функцией MES-систем является сбор данных в реальном времени, включая фиксацию результатов осмотров и выполнения операций [1]. Информация с MES может перенаправляться в ERP для корректировки планов [1]. MES, как ключевой компонент, принадлежащий уровню управления производственными операциями, обеспечивает связь между системами планирования ресурсов предприятия и оборудованием на производстве. Архитектурно такое разделение обосновывается защитой ERP от высокой частоты транзакций, генерируемых рабочими центрами. Однако внедрение полноценных MES-комплексов влечет за собой не только значительные денежные затраты, но и необходимость поддержки избыточной инфраструктуры. Именно данные факторы делают данный подход экономически невыгодным для многих предприятий малого и среднего сегмента.

Несмотря на усиленное внедрение мобильных устройств повсеместно, внедрение мобильных клиентов непосредственного взаимодействия рабочих производственных цехов с используемой на производстве информационной системой до сих пор не получило должного внимания. Потенциал использования мобильных интерфейсов для оперативного учета остается недооцененным преимущественно из-за архитектурных ограничений. Прямая интеграция мобильных клиентов с ERP-системой может рассматриваться как риск для дестабилизации серверной инфраструктуры из-за роста транзакций. Также существует

зависимость от стабильности сетевого покрытия, которое в условиях цеха достаточно нестабильно.

Тем не менее, переход от стационарных терминалов к персональным мобильным устройствам исполнителей открывает новые возможности для повышения гибкости производственного учета. Мобильность позволяет привязать учет не к рабочему месту, а к исполнителю, обеспечивая непрерывность сбора данных даже при перемещении внутри цеха. Ключевой проблемой здесь выступает не отсутствие аппаратных средств, а отсутствие эффективных архитектурных стандартов, позволяющих реализовать функционал оперативного управления непосредственно на уровне мобильного клиента, снимая нагрузку с ERP-сервера. В связи с этим предлагается решение вместо создания отдельного MES-контура реализовать виртуальный MES-слой на стороне мобильного устройства. Таким образом решение позволит реализовать функционал оперативного учета с минимальными затратами на внедрение.

В практике автоматизации промышленного производства сложилось два основных архитектурных подхода к организации сбора данных с рабочих мест: архитектура с использованием класса MES и прямая интеграция мобильных клиентов с ERP-системой. Традиционным методом на предприятиях все же является внедрение MES-систем. В данной связке MES выступает в роли буфера и «сборщика» данных. Система принимает частые факты транзакции от рабочих центров, обрабатывает логику производственного процесса и передает в ERP свернутую информацию о результатах смены или заказа. MES представляет специализированный функционал для диспетчеризации, который бывает избыточным в и без того объемных ERP-конфигурациях. Но как было отмечено ранее, системы класса MES подходят только небольшой части предприятий, готовых к значительным затратам для их внедрения.

Альтернативным же вариантом, позволяющим сэкономить средства, является внедрение мобильного приложения, сразу же интегрированного с ERP-системой без отдельного MES уровня. Однако есть у такого метода и недостатки, которые сдерживают его массовое распространение. Главной проблемой является нестабильность сетевого покрытия, которой характеризуются производственные помещения. Наличие станочного оборудования, металлических конструкций, специфических материалов могут создавать эффект экранирования, приводящего к созданию «радиотеней» [2]. Однако, начиная с версии платформы 8.3.16.1030, разработчик имеет возможность настроить состав автономной конфигурации, включая необходимые объекты метаданных. В данной архитектурной структуре мобильное устройство обладает собственной локальной СУБД, что позволяет исполнителю непрерывно фиксировать результаты операций независимо от статуса подключения к сети.

ERP-системы оптимизированы для обработки транзакций уровня управления ресурсами, частота которых относительно небольшая. Прямое подключение множества мобильных клиентов генерирует целый поток маленьких транзакций начала и завершения операции, фиксация годной продукции и брака в режиме реального времени. Отсутствие промежуточного уровня означает, что каждое действие рабочего инициирует сетевой запрос, что является неэффективным

решением при большом количестве мобильных пользователей. Но мобильный клиент, по аналогии с передачей данных из MES, может приобрести свойства обработки данных без выделения отдельного серверного контура.

«Виртуальный MES-слой» реализуется программно в составе автономной конфигурации мобильной конфигурации на платформе «1С:Предприятие». Ключевым отличием от традиционного тонкого клиента является наличие полноценной локальной СУБД (PostgreSQL) и расширенной бизнес-логики, которая обычно выполняется на сервере. Процесс обработки данных можно разделить на четыре этапа:

1. Первичная фиксация.
2. Локальная валидация и контекстуализация.
3. Агрегация и свертка.
4. Адаптивная передача в ERP.

На этапе первичной фиксации, когда исполнитель фиксирует изменение статуса технологической операции, событие не отправляется на сервер ERP немедленно, а вместо этого оно записывается в локальный регистр сведений «Журнал событий» со следующими реквизитами:

1. *ИдентификаторОперации*. Характеризующийся уникальным номером технологической операции в системе.
2. *ТипСобытия*. Отвечает за статус выполнения технологической операции: не начато, начато, выполнено, не выполнено (с браком).
3. *ВремяСобытия*. Точное время внесения изменений исполнителем.
4. *СтатусСинхронизации*.
5. *КонтекстСмены*. Идентификатор текущей рабочей смены, номер производственного участка, цеха.

Подобный подход позволяет фиксировать события без создания нагрузки на сеть и без риска потери данных при обрыве связи.

На втором этапе обработки данных приложение фактически выполняет функцию диспетчеризации характерную для MES-систем. Приложение проверяет копию маршрутного листа в локальной базе. Если исполнитель пытается завершить операцию, которой предшествует не завершенная операция без статуса «Выполнено», то система блокирует действие и выдает предупреждение. Это предотвращает попадания логических ошибок в систему. Также сравнивается фактическое время выполнения операции с заданным плановым, хранящемся в кэше объекта метаданных. Если отклонение превышает порог, событию присваивается повышенный приоритет синхронизации для немедленного уведомления мастера участка.

Этап агрегации данных является ключевым элементом защиты ERP-системы от перегрузки из-за часто поступаемых транзакций. Вместо потока из сотни небольших транзакций, в ERP передаются оформленные итоги.

Свертку целесообразно производить не путем простого суммирования чисел, а путем группировки событий в документы учета:

1. *Входные данные*:
08:00 - Старт Операции 0108 Слесарная (Исполнитель: Иванов И.И.)
08:45 - Финиш Операции 0108 Слесарная (Годной: 5 шт.)

08:50 — Старт Операции 0200 Контроль (Исполнитель: Иванов И.И.)

09:30 — Финиш Операции 0200 Контроль (Годной: 5 шт.)

... (еще циклы за смену)

2. *Выходные данные:*

Документ: ОтчетПроизводстваЗаСмену

Период: 08:00 – 17:00

Исполнитель: Иванов И.И.

Табличная часть:

№ операции	РЦ	Наимен. операции	ФИО исполнителя	Время начала операции	Время окончания операции	Годных шт.	Брак шт.
010	24023	0108 Слесарная	Иванов И.И.	01.04.2026 08:00	01.04.2026 08:45	5	0
015	24023	0200 Контроль	Иванов И.И.	01.04.2026 08:50	01.04.2026 09:30	5	0

Стоит отметить, что свертка происходит индивидуально и в ERP поступают отдельные документы от каждого исполнителя. Но в перспективе возможен и гибридный подход с формированием пакетов документов индивидуальных отчетов рабочих, упаковывающихся в один HTTP-запрос (JSON-массив). Процесс преобразования потока событий в документе инициирует по одному из условий:

1. *По окончанию смены.* Рабочий нажимает кнопку «Завершить смену», все накопленные события за смену группируются в единый документ.

2. *По заполнению буфера.* Если количество не синхронизированных событий достигает лимита, система автоматически запускает процесс формирования промежуточного отчета.

3. *По критическому событию.* Фиксация массового брака инициирует внеплановую свертку и приоритетную отправку только соответствующей части данных.

Процесс от момента свертки до записи в ERP регулируется методом адаптивной синхронизации. Модуль синхронизации собирает все свернутые документы со статусом «Ожидает отправки». Проверяется приоритет данных (например, отчеты с браком помечаются как «Высокий приоритет», обычные выработки «Средний»). Данные впоследствии сериализуются в формат JSON. Сервер 1С:ERP принимает HTTP-запрос и получает один документ. В рамках одной серверной транзакции происходит запись всех итогов в регистры накопления.

Ниже на рис. 1 представлена архитектурная схема, которая визуализирует предложенный в статье подход к организации прямого сбора данных в ERP-систему без промежуточного MES-уровня.

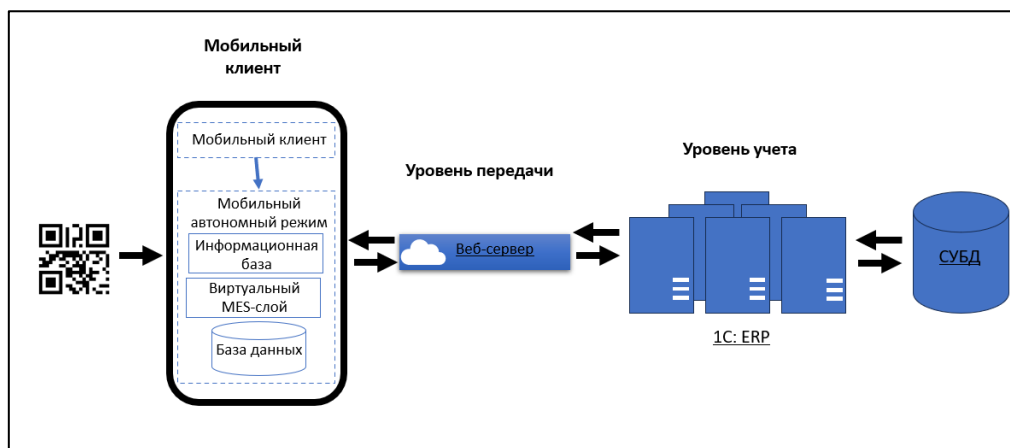


Рис. 1 Архитектура предлагаемого решения

Проведённый анализ показал, что традиционный подход к цифровизации оперативного учёта, предполагающий внедрение полноценных MES-комплексов, является экономически нецелесообразным для многих предприятий малого и среднего сегмента из-за высоких затрат на лицензирование, внедрение и поддержку отдельного информационного контура. В то же время прямая интеграция мобильных клиентов с ERP-системой без промежуточной агрегации данных создаёт риски дестабилизации серверной инфраструктуры из-за лавинообразного роста транзакций. Предложенное решение нивелирует указанные риски за счёт переноса функций буферизации, агрегации и первичной валидации данных на мобильное устройство исполнителя.

Список литературы:

1. Данькив, В. М. Системы управления производственными данными (MES): исследование роли MES в интеграции автоматизированных процессов и повышения эффективности // Актуальные вопросы научных исследований в условиях формирования многополярного мира: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Самара, 28 января 2025 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Аэтерна", 2025. – С. 27-32. – EDN DGVRYM.
2. Пахолков, И. В. Мобильные устройства для автоматизации учета на производстве / И. В. Пахолков, А. М. Воронов, Е. В. Ершов // Современные информационные технологии. Теория и практика : Теория и практика Материалы III Всероссийской научно-практической конференции, Череповец, 30 ноября 2016 года / Под редакцией Т.О. Петровой. – Череповец: Череповецкий государственный университет, 2017. – С. 101-104. – EDN YKBTDH.
3. Кальянов, А. Д. Разработка мобильных приложений на платформе "1С: Предприятие" / А. Д. Кальянов // Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : материалы IX Международной научной конференции, Донецк, 15–17 октября 2024 года. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2024. – С. 180-182. – EDN SQPEAF.
4. Фролов, А. С. Использование подключаемого оборудования на платформе "1С:Предприятие 8.3" / А. С. Фролов // Информационные технологии :

Межвузовский сборник научных трудов / Рязань : Рязанский государственный радиотехнический университет, 2016. – С. 173-182. – EDN WZLYYD.

5. Ковалев В.Е., Новикова К. В., Добровлянин В.Д. Внедрение ERP-систем малыми и средними компаниями в России: барьеры и перспективы // Управление. Т. 14, № 6. С. 77-90. DOI: 10.29141/2218-5003-2023-14-6-6. EDN: EPLGEJ.

6. Загидуллин, Р. Р. Б. Управление машиностроительным производством с помощью систем MES, APS, ERP : Полная версия / Р. Р. Б. Загидуллин. – 2-е издание, стереотипное. – Старый Оскол : ООО «Тонкие наукоемкие технологии», 2020. – 416 с. – ISBN 978-5-94178-282-6. – EDN BUZAQL.