

Научная статья

Research article

УДК 338.31:636.2.35:637.116

<https://doi.org/10.17073/2072-1633-2021-3-298-308>

Экономическая эффективность робототехнического комплекса укладки молочной продукции

М.С. Шматова¹, Е.В. Сытов² ✉, С.А. Воротников³

¹ Филиал АО «Управляющая компания ЭФКО» в Воронеже, 115035, Москва, Овчинниковская наб., д. 20, стр. 1, офис 1304, Российская Федерация

² Филиал АО «Управляющая компания ЭФКО» в Алексеевке, 309850, Белгородская обл., Алексеевка, ул. Фрунзе, д. 2, Российская Федерация

³ Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, Российская Федерация

✉ evsytov@gmail.com

Аннотация: Статья посвящена оценке экономической эффективности робототехнического комплекса (РТК) на предприятии группы компаний «ЭФКО» (ГК ЭФКО), осуществляющем укладку готовой молочной продукции в лотках и бутылках на поддоны с шести производственных линий с использованием робота-паллетайзера и конвейерного оборудования. Приведена схема робототехнического комплекса с описанием компонентов, входящих в него. Осуществлен сбор и анализ информации текущей производительности, массогабаритных характеристик и расположения производственных линий РТК укладки молочной продукции. Показан принцип расчета требуемой производительности и грузоподъемности робота-паллетайзера. Продемонстрирован опытный образец, установленный на предприятии ГК ЭФКО. Комплекс позволяет снизить трудоемкость, повысить качество укладки, уменьшить ошибки, связанные с человеческим фактором. Внедрение и эксплуатация позволяют сократить численность рабочего персонала. Показаны расчеты экономического эффекта на стадии планирования и после реализации проекта с помощью традиционных методов инвестиционного и качественного анализа. Определены основные экономические показатели: сумма капитальных вложений и сроки внедрения РТК, изменение численности персонала, затраты на обслуживание, сокращение «рабочей» площади склада при размещении оборудования. Показаны основные ориентиры для определения нормативного срока окупаемости. На базе полученных данных дополнительно рассчитаны показатели экономической эффективности: коэффициент рентабельности капитальных вложений в автоматизацию, процент снижения себестоимости единицы продукции, рост производительности труда. Проведен мониторинг эффективности работы РТК после его внедрения на реальном производстве компании филиала ГК ЭФКО. Показано сравнение результатов мониторинга с расчетом экономического эффекта при планировании. Приведенные результаты могут быть полезны разработчикам средств автоматизации участков упаковки и складирования, заинтересованным в повышении производительности труда и качестве выпускаемой продукции.

Ключевые слова: пищевая промышленность, автоматизация производства, укладка продукции, робототехнический комплекс, паллетирование лотков, роботы-паллетайзеры, окупаемость, экономическая эффективность

Для цитирования: Шматова М.С., Сытов Е.В., Воротников С.А. Экономическая эффективность робототехнического комплекса укладки молочной продукции. *Экономика в промышленности*. 2021;14(3):298–308. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2021-3-298-308>

Economic efficiency of a robotic complex for stacking dairy products

M.S. Shmatova¹, Ye.V. Sytov² ✉, S.A. Vorotnikov³

¹EFKO Management Company, Voronezh Office,
office 1304, 20/1 Ovchinnikovskaya emb., Moscow 115035, Russian Federation

²EFKO Management Company, Alekseevka Office,
2 Frunze Str., Alekseevka, Belgorod Region 309850, Russian Federation

³Bauman State Technological University,
5 2nd Baumanskaya Str., Moscow 105005, Russian Federation

✉ evsytov@gmail.com

Abstract. The article deals with estimating economic efficiency of a robotic complex (RC) at the EFKO group plant which stacks ready dairy products on trays and in bottles from 6 production lines onto pallets using a palletizer robot and conveyor equipment for products and pallets. The authors demonstrate an RC scheme with the description of its components. They have collected and analyzed the information on the current productivity, weight and size characteristics and location of production lines of a robotic complex for stacking dairy products. The article presents the principle for calculating the required productivity and lifting capacity of the palletizer robot. The authors demonstrate a preproduction model mounted at the EFKO group plant. The complex makes it possible to reduce the labor intensity, improve the quality of stacking, decrease the number of human errors. Its implementation and exploitation will reduce the number of employees. The article presents calculations of economic effect on the stage of planning and after the project's realization. To this end the authors use traditional methods of investment and qualitative analysis. They determine basic economic indicators such as the amount of capital investments and the terms of the RC implementation, change in the number of staff, maintenance costs, reduction of the "working" area of the warehouse due to the placement of the equipment. The article contains the basic landmarks for determining the standard payback period. According to the data received the authors additionally calculated the indicators of economic efficiency: profitability ratio of capital investment into automation, percentage reduction in unit cost, labor productivity growth. The authors monitored the RC performance efficiency after its implementation at a real production plant of the EFKO group. In conclusion they compare the results of the monitoring with the calculations of the economic effect made at the planning stage. The results adduced can be useful for those who develop automation equipment for packing and storing, and to those who are interested in productivity and quality improvement.

Keywords: food industry, production automation, product stacking, product packaging, robotic complex, trays palletizing, robot palletizers, dairy products, payback, economic efficiency

For citation: Shmatova M.S., Sytov Ye.V., Vorotnikov S.A. Economic efficiency of a robotic complex for stacking dairy products. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2021;14(3):298–308. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2021-3-298-308>

乳制品码垛机器人综合体的经济效益

M.S.施马托娃¹, E.V.西托夫² ✉, S.A.沃罗特尼科夫³

¹EFKO管理公司JSC沃罗涅日分公司, 115035, 俄罗斯联邦, 莫斯科, 奥夫钦尼科夫斯卡亚河沿大街20/1号, 办公室1304号

²EFKO管理公司JSC阿列克谢耶夫卡分公司, 309850, 俄罗斯联邦, 别尔哥罗德州, 阿列克谢耶夫卡市伏龙芝街2号

³莫斯科国立鲍曼技术大学, 105005, 俄罗斯联邦, 莫斯科, 第二鲍曼大街5/1号

✉ evsytov@gmail.com

摘要: 本文致力于评估 EFKO 集团公司下属企业机器人技术综合体 (RTC) 的经济效益, 该综合体使用码垛机器人和产品及托盘传送设备, 将来自 6 条生产线上的成品乳制品托盘和瓶装单元码放到货盘上。给出了 RTK 示意图, 对其中的组件进行了描述。收集和分析了用于码垛乳制品的 RTK 生产线的当前生产率、重量和尺寸特征以及生产线位置的信息。提出了计算码垛机

关键词: 机器人综合体、托盘码垛、码垛机器人、乳制品、投资回报、经济效益

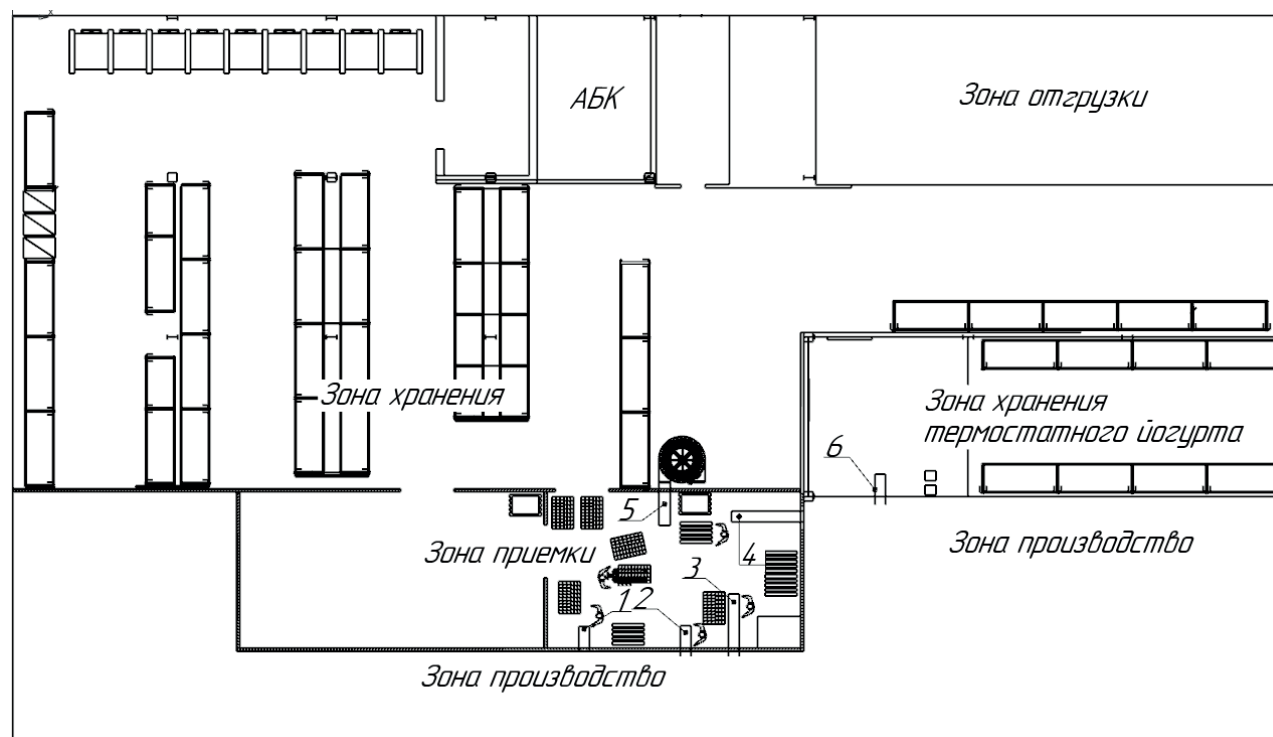


Рис. 1. Расположение рабочих зон участка укладки молочной продукции с обозначением конвейеров подачи продукции: 1 – питьевой йогурт (бутылка 690 г); 2, 5 – питьевой йогурт (бутылка 290 г); 3 – биойогурт «Семейный завтрак»; 4 – йогурт в ванночках; 6 – десерт творожно-йогуртовый

Fig 1. Arrangement of working areas of the dairy products stacking area with the designation of product supply conveyors: 1 – drinking yoghurt (bottle 690 g); 2, 5 – drinking yogurt (bottle 290 g); 3 – bioyogurt “Family Breakfast”; 4 – yoghurt in trays; 6 – curd-yoghurt dessert

Таблица 1 / Table 1
Распределение людей по линиям в смену
Distribution of people between lines per shift

Наименование линии	Количество грузчиков на укладке гр. уп., чел.
Питьевой йогурт (бутылка 690 г)	1
Питьевой йогурт (бутылка 290 г)	1
Биойогурт «Семейный завтрак»	1
Йогурт в ванночках	6
Питьевой йогурт (бутылка 290 г)	3
Десерт творожно-йогуртовый	2
Итого	14

Схема РТК и описание ее компонентов

На первом этапе внедрения РТК определялись его входные параметры. Продукция поступала на склад по шести конвейерам, поэтому вычислялась производительность каждой линии в групповых упаковках (гр. уп.). Расчет проводился по номинальной производительности имеющихся фасовочных машин на производстве, с округ-

лением полученных результатов в большую сторону (табл. 2). Там же приведены массогабаритные характеристики групповой продукции.

Таблица 2 / Table 2
Характеристики поступающего продукта на склад
Characteristics of the incoming product to the warehouse

Наименование линии	Производительность, гр. упаковок/мин	Масса гр. упаковки, г	Габариты гр. упаковки, Ш × Д × В, мм
Питьевой йогурт (бутылка 690 г)	14	5300	172 × 210 × 270
Питьевой йогурт (бутылка 290 г)	17	2000	117 × 143 × 196
Биойогурт «Семейный завтрак»	13	3800	398 × 298 × 69,5
Йогурт в ванночках	84	1100	186 × 250 × 63
Питьевой йогурт (бутылка 290 г)	42	2000	117 × 143 × 196
Десерт творожно-йогуртовый	30	1100	186 × 250 × 63
Итого	200	–	–

На производстве используется деревянный поддон (ГОСТ № 95557-87), размерами 1200 × 800 × 144 мм [4]. С каждой линии продукция попадает на свой поддон, продукт не перемешивается. Для устойчивости поддона, на каждый слой наносится прокладочный картон, а также каждый четный ряд укладывается асимметрично нечетному.

На основании этих данных были сформированы требования к производительности и грузоподъемности РТК укладки готовой молочной продукции (табл. 3) [5]. Номинальная производительность $Q_{\text{РТК}}$ определялась через количество групповых упаковок n уложенных за минуту. Зная номинальную производительность и количество групповых упаковок на поддоне, определялось время загрузки одного поддона $T_{\text{под}}$:

$$Q_{\text{РТК}} = \frac{n}{t} = \frac{\text{групповых упаковок}}{\text{мин}} = 14 \text{ гр. уп. / мин};$$

$$T_{\text{под}} = \frac{135}{Q_{\text{отк}}} \approx 9,64 \text{ мин};$$

$$C_{\text{цикл}} = Q_{\text{отк}} = 14 \frac{\text{ЦИКЛ}}{\text{МИН}} = 0,23 \frac{\text{ЦИКЛ}}{\text{с}};$$

$$\frac{1}{C_{\text{цикл}}} = 4,34 \frac{\text{с}}{\text{цикл}}.$$

Таблица 3 / Table 3

Параметры производительности РТК

RTK performance parameters

Суммарная производительность, коробок/мин	14
Количество групповых упаковок на поддоне, ед. гр. упаковок	135
Требуемое количество циклов, цикл/с	0,23
Время сборки одного поддона, мин	9,64
Длительность одного цикла, с	4,34

Для непрерывности технологического процесса количество циклов загрузки РТК в минуту $C_{\text{цикл}}$ должно соответствовать количеству поступающих групповых упаковок, следовательно, время укладки коробки на паллету не должно превышать 4,34 с. Время цикла можно увеличить, если брать несколько упаковок за цикл [6].

С учетом полученных параметров производительности РТК (табл. 2), схема расположения оборудования для каждого вида продукта выглядит следующим образом (рис. 3).

В состав РТК укладки молочной продукции вошло следующее оборудование: цепные конвейеры для выгрузки полных поддонов с зоны РТК, конвейеры для подачи молочной продукции к роботу, робот-паллетайзер модели Fanuc 410iC/110 [7], захватное устройство, ограждения, световые барьеры безопасности, шкаф управления на базе контроллера Siemens S7-1200 [8–9].

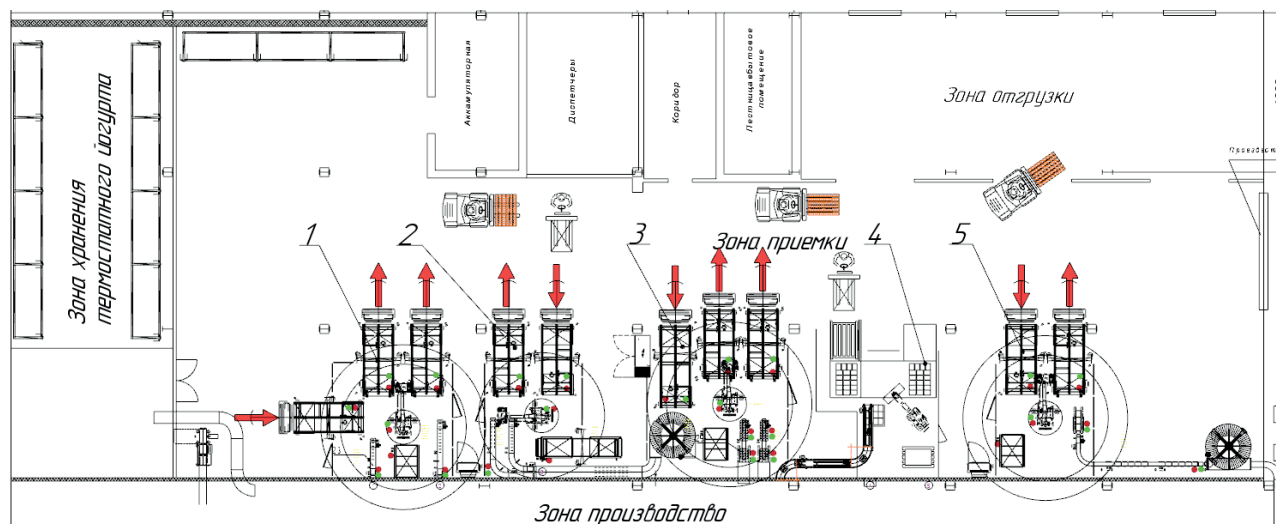


Рис. 3. Схема РТК укладки молочной продукции:

- 1 – РТК укладки питьевого йогурта (бутылка 690 г) и питьевого йогурта (бутылка 290 г); 2 – РТК укладки питьевого йогурта (бутылка 290 г); 3 – РТК укладки био-йогурта «Семейный завтрак»; 4 – РТК укладки йогурта в ванночках; 5 – РТК укладки десерта творожно-йогуртового

Fig. 3. Scheme of the RTC for stacking dairy products:

- 1 – RTC for stacking drinking yogurt (bottle of 690 g) and drinking yogurt (bottle of 290 g); 2 – RTC for packing drinking yoghurt (bottle of 290 g); 3 – RTC for packing bioyogurt “Family Breakfast”; 4 – RTC for placing yoghurt in trays; 5 – RTC for stacking curd-yoghurt dessert

Решение с шарнирным роботом было выбрано в пользу более низкой себестоимости по сравнению с аналогичной технологией укладки порталным роботом [10]. В рамках закрытого тендера и технической оценки специалистов компании ГК ЭФКО были оценены такие преимущества робота, как низкая себестоимость, малые габариты при объемной зоне досягаемости, широкий спектр подключения к внешним цифровым ресурсам для сбора информации в рамках концепции цифрового производства.

Результатом разработки явился участок с несколькими опытными образцами РТК укладки молочной продукции с шести конвейерных линий, размещенный на производственной площадке компании ГК ЭФКО в г. Алексеевка (рис. 4) [11].



Рис. 4. Монтаж опытных образцов РТК

Fig. 4. Installation of prototypes of РТК

Экономическая эффективность РТК

При оценке экономической эффективности от реализации проекта по внедрению РТК укладки готовой молочной продукции на поддон в статье используются традиционные методы инвестиционного и качественного анализа, включающие [12]:

- определение срока окупаемости капитальных затрат;
- расчет коэффициента рентабельности капитальных вложений;
- определение процента снижения себестоимости процесса укладки коробов на поддон в расчете на единицу продукции;
- оценку изменения показателя производительности труда.

При расчете проектов автоматизации на предприятии ГК ЭФКО применяется простой метод окупаемости инвестиций. Такой подход хорошо подходит под условия реализации таких проектов, так как вложения являются единовременными и инвестируются на старте проекта. [13]. Оборудование окупает себя стабильно, рав-

ными частями с момента запуска и получения положительных финансовых эффектов.

Экономическая эффективность автоматизации, в первую очередь, измеряется степенью уменьшения совокупного труда, затрачиваемого на выпуск единицы продукции, и определяется через окупаемость проекта по внедрению новой техники [14].

В данном проекте *окупаемость* характеризует целесообразность внедрения РТК в сравнении с используемым ныне ручным трудом и оценивается через расчет периода, в течение которого капитальные затраты возмещаются за счет экономии, достигаемой от внедрения новой техники [15].

Для расчета окупаемости необходимо решить следующие задачи:

- 1) определить сумму капитальных вложений и сроки внедрения автоматизированной системы;
- 2) рассчитать изменение численности персонала;
- 3) оценить затраты на обслуживание РТК (затраты на энергоресурсы, планово-предупредительный ремонт);
- 4) учесть сокращение «рабочей» площади склада при размещении РТК.

В рамках текущего расчета определяется «простой» срок окупаемости (без учета дисконтирования). Период окупаемости включает в себя инвестиционную фазу проекта – промежуток времени с начала инвестирования в проект до ввода его в эксплуатацию. Срок окупаемости капитальных затрат на автоматизацию (О) определяется по формуле

$$O = \frac{K}{(P_n - P_a) \cdot 0,8 + ИФ},$$

где K – капитальные затраты в автоматизацию; P_n – расходы на укладку коробов на паллету до реализации проекта по автоматизации в единицу времени (год); P_a – расходы на укладку коробов на паллету после реализации проекта по автоматизации в единицу времени (год); 0,8 – коэффициент «эффекта налогового щита». Этот коэффициент учитывает, что при снижении операционных расходов увеличивается величина прибыли до налогообложения, поэтому чистый эффект будет ниже на величину ставки по налогу на прибыль (ставка налога на прибыль по общей системе налогообложения составляет 20 %); ИФ – инвестиционная фаза проекта (год) [16].

1. Определение суммы капитальных вложений

Плановые капитальные вложения в автоматизацию процесса укладки коробов на паллеты –

50,5 млн руб. без НДС. Данные затраты включают в себя:

- оборудование (5 роботов-паллетайзеров, конвейерное оборудование и пр.) – 45,9 млн руб.;
- монтажные работы (подготовка складских площадей, монтаж оборудования) – 3,4 млн руб.;
- инжиниринг (проектные работы, строительный контроль – 1,2 млн руб.).

Плановая инвестиционная фаза проекта учетом времени на поставку оборудования и монтаж – 7 месяцев.

2. Расчет изменения численности персонала

Как было отмечено ранее, до внедрения РТК на участке приемки продукции на склад укладку коробов на паллету обеспечивал штат из 60 грузчиков с общим фондом оплаты труда 27 млн руб./год (с учетом отчислений во внебюджетные фонды). После реализации проекта функция укладки будет автоматизирована, в результате чего на участке останется только 9 грузчиков, включая 2-х человек в смену основного персонала и 1-го подменного рабочего с общим фондом оплаты труда 4 млн руб./год (с учетом отчислений во внебюджетные фонды). Сокращение персонала составит – 51 грузчик с общим фондом оплаты труда 23 млн руб./год (с учетом отчислений во внебюджетные фонды).

Наряду с этим, обслуживание и обеспечение работы РТК потребует введения в штат 1 наладчика (с 5-дневным графиком работы). Расходы на оплату труда наладчика составляют 0,6 млн руб./год (с учетом отчислений во внебюджетные фонды).

Чистый эффект проекта от изменения численности персонала составит: сокращение 50 сотрудников с общим фондом оплаты 22,4 млн руб./год.

Помимо очевидного эффекта экономии на оплате труда в результате сокращения персонала, проект позволит дополнительно снизить расходы на спецодежду, медосмотры и доставку персонала на производственную площадку – оценочно на 1,5 млн руб./год [17].

3. Затраты на обслуживание РТК

Обслуживание РТК повлечет рост расходов на энергоресурсы и планово-предупредительный ремонт (табл. 4).

4. Сокращение «рабочей» площади склада для размещения РТК

Установка оборудования РТК сократит площадь склада, которую можно было бы задействовать под установку стеллажей для размещения дополнительных объемов продукции на хранение. Данный эффект не влечет за собой прямых расходов, однако может быть оценен через компенсацию занимаемой площади склада по стоимости создания 1 м² склада молочной продукции, а также учтен при оценке окупаемости проекта.

Занимаемая площадь оборудования автоматизации составляет 225 м², стоимость 1 м² – 26 тыс. руб. Косвенный отрицательный эффект – 5,9 млн руб. (без НДС). Данная сумма должна быть учтена в сумме капитальных затрат как компенсация «потери» площади склада.

Исходя из приведенных данных «простой» срок окупаемости проекта с момента ввода оборудования в эксплуатацию составит 3,9 года:

$$\frac{(50,5 + 5,9)}{(27 + 1,5) - (4 + 0,6 + 2,4 + 0,5) \cdot 0,8} + \frac{7}{12} = 3,9.$$

Срок окупаемости капитальных вложений используется для принятия решения на основании его соответствия нормативным срокам, при-

Таблица 4 / Table 4

Расходы на энергоресурсы и предупредительный ремонт пяти РТК

Energy costs and preventive maintenance of five RTK

Расходы на электроэнергию				
Показатель	Норма расхода, кВт	Цена кВт · ч (без НДС)	Количество часов работы в год	Расходы, млн руб./год (без НДС)
Конвейерная система для поддонов	19,5	4,5	7 935	0,7
Конвейеры для продукции	6			0,2
Роботы	37,5			1,3
Шкафы управления	6			0,2
Итого	69			2,4
Расходы на планово-предупредительный ремонт				
Показатель	Расходы, млн руб./год (без НДС)			
Конвейерная система для поддонов	0,1			
Конвейеры для продукции	0,04			
Роботы	0,3			
Шкафы управления	0,1			
Итого	0,5			

нятым в конкретной компании. Ориентирами для определения нормативного срока окупаемости могут служить [18]:

- нормативный срок службы внедряемого оборудования;
- ожидаемый срок производства новой продукции, для обеспечения которого внедряются мероприятия;
- интересы собственника (инвестора), принимающего решения о финансировании рассматриваемых мероприятий.

Нормативным сроком окупаемости в ГК ЭФКО считается 3–5 лет. Расчетный срок окупаемости соответствует данным значениям, поэтому проект был утвержден к реализации [19].

На базе полученных данных в рамках расчета окупаемости проекта дополнительно можно рассчитать показатели экономической эффективности:

1. *Коэффициент рентабельности капитальных вложений в автоматизацию* – отражает соотношение операционной прибыли компании (после вычета налогов) к сумме инвестированных в основную деятельность средств. Фактически он означает, сколько рублей операционной прибыли зарабатывает каждый рубль капитальных вложений за определенный период времени (в целях расчета в качестве периода времени принимаем срок окупаемости с начала реализации проекта – 3,9 лет). Очевидно, что чем выше данный показатель, тем лучше рентабельность инвестированного капитала у компании.

2. *Процент снижения себестоимости единицы продукции (групповой упаковки)* – позволяет оценить эффективность реализации проекта с точки зрения сравнения себестоимости складской опе-

рации по укладке в расчете на единицу продукции до/после реализации проекта.

3. *Рост производительности труда* – измеряется как увеличение количества продукции, выпущенной работником за единицу времени (в год) до/после реализации проекта.

Расчет и значения этих показателей приведены в табл. 5.

Мониторинг эффективности РТК

Оборудование РТК было смонтировано на площадях ГК ЭФКО в г. Алексеевка в 2020 г. По факту эксплуатации РТК в течение полугода проводился мониторинг эффективности его работы и достижения плановых показателей экономической эффективности.

Ключевым отклонением от плановой оценки стало снижение эффекта от сокращения численности персонала. В плановом расчете планировалось, что для обслуживания и обеспечения работы РТК достаточно найма 1 наладчика, по факту потребовалось присутствие наладчика в производстве круглосуточно. В связи с этим было нанято 5 наладчиков (по 1-му в смену и 1-го подменного).

В результате этого экономический эффект 22,4 млн руб./год снизился до 20,2 млн руб./год (снижение оплаты за счет сокращения грузчиков 23 млн руб./год, увеличение оплаты труда за счет найма – наладчиков – 3 млн руб./год). Кроме того, выросла инвестиционная фаза проекта с 7 до 12 месяцев в связи с более длительными сроками поставками оборудования, чем планировалось.

С учетом этого факта были пересчитаны все показатели экономической эффективности (табл. 6) [20].

Таблица 5 / Table 5

Расчет показателей экономической эффективности реализации проекта по внедрению РТК

Calculation of indicators of the economic efficiency of the implementation of the project for the implementation of the RTK

Показатель	Формула расчета	Расчет	Значение
Коэффициент рентабельности капитальных вложений в автоматизацию	$\frac{(P_n - P_a) \cdot 0,80}{K_a}$	$\frac{(27 + 1,5) - (4 + 0,6 + 2,4 + 0,5) \cdot 0,8 \cdot 3,9}{50,5 + 5,9}$	1,16
Процент снижения себестоимости единицы продукции	$\frac{P_n / КП}{P_a / КП} - 1$	$\frac{(27 + 1,5) / (200 \cdot 7935)}{(4 + 0,6 + 2,4 + 0,5) / (200 \cdot 7935)}$	278 %
Увеличение производительности труда, шт.	$\frac{КП}{ЧП_a} - \frac{КП}{ЧП_n}$	$\frac{200 \cdot 7935}{(9 + 1)} - \frac{200 \cdot 7935}{60}$	132 250

Примечание: КП – количество продукции (групповых упаковок, шт.) в год при полной загрузке фасовочного оборудования, рассчитывается как производительность по линиям в 1 минуту (см. табл. 2), умноженная на количество часов работы оборудования (см. табл. 4), ЧП_n – численность персонала до реализации проекта, ЧП_a – численность персонала после реализации проекта.

Таблица 6 / Table 6

Мониторинг показателей экономической эффективности реализации проекта по внедрению РТК
Monitoring of indicators of economic efficiency of project implementation on the implementation of the RTK

Показатель	Формула расчета	Расчет	Значение
Коэффициент рентабельности капитальных вложений в автоматизацию	$\frac{(P_n - P_a) \cdot 0,80}{K_a}$	$\frac{(27 + 1,5) - (4 + 0,6 + 2,4 + 0,5) \cdot 0,8 \cdot 3,9}{50,5 + 5,9}$	1,03
Процент снижения себестоимости единицы продукции	$\frac{P_n / КП}{P_a / КП} - 1$	$\frac{(27 + 1,5) / (200 \cdot 7935)}{(4 + 3 + 2,4 + 0,5) / (200 \cdot 7935)}$	189 %
Увеличение производительности труда, шт.	$\frac{КП}{ЧП_a} - \frac{КП}{ЧП_n}$	$\frac{200 \cdot 7935}{(9 + 1)} - \frac{200 \cdot 7935}{60}$	132 250
Срок окупаемости, лет	$\frac{K}{(P_n - P_a) \cdot 0,8} + ИФ$	$\frac{(50,5 + 5,9)}{(27 + 1,5) - (4 + 3 + 2,4 + 0,5) \cdot 0,8} + \frac{12}{12}$	4,8

Мониторинг результатов проекта показал, что внедрение РТК с небольшими отклонениями от плана, но отвечает поставленным целям в части увеличения производительности труда и повышения экономической эффективности. Экономия на оплате труда позволяет окупить вложения в автоматизацию за 4,8 года, после чего предприятие наращивает ресурсную базу за счет более низкой себестоимости процессов.

Заключение

Создание подобного РТК и расчет его экономической эффективности позволило получить важный опыт разработки, внедрения и эксплуатации подобных комплексов различной функциональной направленности. Такой подход позволяет сделать первые шаги к полной цифровизации всего цикла производства. В дальнейшем планируется интеграция РТК с существующей системой WMS склада, которая в свою очередь уже работает с системой 1С Предприятие.

В результате внедрения РТК укладки в производственную цепочку изготовления молочной продукции удалось снизить численность низкоквалифицированного рабочего персонала, грузчиков с 60 до 9, при этом параллельно при-

влекать 5 наладчиков. Это позволило оптимизировать расходы на оплату труда, а также прочие расходы на персонал (медосмотры, спецодежда и т.п.) – 21,7 млн руб./год. В то же время реализация проекта повлекла рост расходов на электроэнергию и обслуживание оборудования – 2,9 млн руб./год. В совокупности чистый эффект проекта имеет положительное значение, что позволяет окупить инвестиции в проект за 4,8 года с учетом инвестиционной фазы. Несмотря на некоторое ухудшение фактических показателей экономической эффективности по сравнению с плановыми, они остаются на высоком уровне, что подтверждает экономическую эффективность автоматизации процесса укладки коробов на поддоны на складе молочной продукции. Кроме того, проект снимает риски, связанные с человеческим фактором на производстве.

Авторы рассчитывают на то, что предложенное в статье решение по автоматизации операций паллетирования на основе РТК укладки с проведенным экономическим обоснованием окажется полезным руководителям и инженерно-техническим работникам промышленных предприятий различного профиля, стремящимся к полной автоматизации своих предприятий, но еще использующим ручной труд.

Список литературы

1. Индустрия 4.0: цифровая трансформация бизнеса. URL: <https://www.secuteck.ru/pp-cifrovaya-transformaciya>
2. Tortorella G.L., Giglio R., van Dun D.H. Industry 4.0 adoption as a moderator of the impact of lean production practices on operational performance improvement. *International Journal of Operations &*

Production Management. 2019;(6–8):860–886. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-01-2019-0005>

3. Кораблев И.Г., Решетников И.С. Оценка уровня автоматизации производственных систем. *Автоматизация в промышленности*. 2020;(1):38–42. <https://doi.org/10.25728/avtprom.2020.01.07>

4. ГОСТ 9557-87. Поддон плоский деревянный размером 800x1200 мм
5. Старовойтов Е.И. Управление мобильными роботами и робототехническими системами. М.: КноРус; 2021. 263 с.
6. Булгаков А.Г., Воробьев В.А. Промышленные роботы. Кинематика, динамика, контроль и управление. М.: Солон-Пресс; 2017. 485 с.
7. Fanuc 410iC/110. Large-Size Intelligent Robot Palletizer. Заглавие с экрана. URL: [www.fanuc.com/fth/th/product/catalog/RM-410iC\(E\)-05.pdf](http://www.fanuc.com/fth/th/product/catalog/RM-410iC(E)-05.pdf) (дата обращения: 28.07.2021).
8. Журавков М.А., Grassi E., Громыко О.В., Громыко А.О., Царева А.А. Методика моделирования функционирования робототехнических комплексов семейства Fanuc в пакете RoboGuide. В сб.: *Информатизация образования – 2010: педагогические аспекты создания информационно образовательной среды: материалы междунар. науч. конф.* Минск: Белорус. гос. ун-т; 2010:205–209.
9. SIMATIC S7 S7-1200 Programmable controller. Заглавие с экрана. URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/465/36932465/att_106119/v1/s71200_system_manual_en-US_en-US.pdf (дата обращения: 28.07.2021).
10. Васильев Д. ООО «ФЕСТО-РФ» Портальные манипуляторы или шарнирные роботы — что выгоднее? URL: <https://controlengrussia.com/rynok/roboty-festo/>
11. Сытов Е.В., Воротников С.А., Резницкий М.А. Опыт построения робототехнического комплекса укладки масложировой продукции. *Автоматизация в промышленности*. 2020;(5):59–64. <https://doi.org/10.25728/avtprom.2020.05.13>
12. Алтухова М.В. Эффективность автоматизации производственных процессов. *Планово-экономический отдел*. 2015;(12):5–9. URL: https://www.profiz.ru/peo/12_2015/effektivnost_avtomatizaci/
13. Окупаемость бизнеса: способы расчета срока окупаемости проекта URL: https://franshiza.ru/article/read/okupaemost_biznesa/
14. Экономическая эффективность технических решений. учебное пособие / под общ. ред. И.В. Ершовой. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та; 2016. 140 с.
15. Кучарина Е.А. Инвестиционный анализ. М.: Питер; 2016. 160 с.
16. Кочкаева Д.О. Экономическая эффективность инвестиционной деятельности. *Аллея Науки*. 2019;2((3(30))):342–347. URL: https://alley-science.ru/domains_data/files/06March2019/EKONOMICHESKAYA%20EFFEKTIVNOST%20INVESTICIONNOY%20DEYATELNOSTI.pdf
17. Домодаран А. Инвестиционная оценка: Инструменты и методы оценки любых активов. М.: Альпина Паблишер; 2011. 291 с.
18. Мишин С. Автоматизация промышленных предприятий: как получить экономический эффект. *Ваш партнер-консультант*. 2017;(16 (9682)). URL: <https://www.eg-online.ru/article/343270/>
19. Радостева М.В. К вопросу о производительности труда. *Научные ведомости БелГУ. Серия Экономика. Информатика*. 2018;(2):268–272. <https://doi.org/10.18413/2411-3808-2018-45-2-268-272>
20. Frohm J., Lindström V., Winroth M., Stahre J. The industry's view on automation in manufacturing. *Conference: 9th IFAC Symposium on Automated Systems Based on Human Skill and Knowledge. In: IFAC Proceedings Volumes*. 2006;39(4):453–458. <https://doi.org/10.3182/20060522-3-FR-2904.00073>

References

1. Industry 4.0: digital business transformation. URL: <https://www.secuteck.ru/pp-cifrovaya-transformaciya> (In Russ.).
2. Tortorella G.L., Giglio R., van Dun D.H. Industry 4.0 adoption as a moderator of the impact of lean production practices on operational performance improvement. *International Journal of Operations & Production Management*. 2019;(6/7/8):860–886. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-01-2019-0005>
3. Korablev I.G., Reshetnikov I.S. Assessment of automation level of production systems. *Journal Automation in Industry*. 2020;(1):38–42. (In Russ.). <https://doi.org/10.25728/avtprom.2020.01.07>
4. ГОСТ 9557-87 Flat wooden pallet 800x1200 mm (In Russ.).
5. Starovoitov E.I. Control of mobile robots and robotic-technical systems. Moscow: KnoRus; 2021. 263 p. (In Russ.).
6. Bulgakov A.G., Vorob'ev V.A. Industrial robots. Kinematics, dynamics, control and management. Moscow: Solo-Pres; 2017. 485 p. (In Russ.).
7. Fanuc 410iC/110. Large-Size Intelligent Robot Palletizer. URL: [www.fanuc.com/fth/th/product/catalog/RM-410iC\(E\)-05.pdf](http://www.fanuc.com/fth/th/product/catalog/RM-410iC(E)-05.pdf) (accessed on 28.07.2021).
8. Zhuravkov M.A., Grassi E., Gromyko O.V., Gromyko A.O., Tsareva A.A. Methodology for modeling the functioning of robotic systems of the Fanuc family in the RoboGuide package. In: *Informatization of education – 2010: pedagogical aspects of creating an information educational environment: materials of the international scientific conf.* Minsk: BSU; 2010:205–209. (In Russ.).
9. SIMATIC S7 S7-1200 Programmable controller. URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/465/36932465/att_106119/v1/s71200_system_manual_en-US_en-US.pdf (accessed on 28.07.2021).
10. Vasiliev D. FESTO-RF LLC Portal manipulators or articulated robots – which is more profitable? <https://controlengrussia.com/rynok/roboty-festo/> (In Russ.).
11. Sytov E.V., Vorotnikov S.A., Reznitskii M.A. Experience in building a robotic complex for stacking fat and oil products. *Journal Automation in Industry*.

2020;(5):59–64. (In Russ.). <https://doi.org/10.25728/avtprom.2020.05.13>

12. Altukhova M.V. Efficiency of automation of production processes. *Plan-economic department*. 2015;(12):5–9. (In Russ.). URL: https://www.profiz.ru/peo/12_2015/effektivnost_avtomatizaci/

13. Business payback: methods of calculating the payback period of the project. https://franshiza.ru/article/read/okupaemost_biznesa/ (In Russ.).

14. Baranchikova S.G. [and others]. Economic efficiency of technical solutions / under total. ed. Ershovoy I.V. Yekaterburg: Publishing house Ural University; 2016. 140 p.

15. Kucharina E.A. Investment analysis. Moscow: Peter; 2016. 160 p. (In Russ.).

16. Kochkaeva D.O. Economic efficiency of investment activity. *Alley of Science*. 2019;2((3(30))):342–347. (In Russ.). URL: https://alley-science.ru/domains_data/files/06March2019/EKONOMICHESKAYa%20

EFFEKTIVNOST%20INVESTICIONNOY%20DEYaTELNOSTI.pdf

17. Domodaran A. Investment appraisal: Tools and methods for appraising any assets. Moscow: Alpina Publisher; 2011. 291 p. (In Russ.).

18. Mishin S. Industrial automation: how to get an economic effect. *Your consulting partner*. 2016;7(111):805–808. (In Russ.).

19. Radosteva M.V. On the question of labor productivity. *Scientific Bulletin. Economics. Information Technologies*. 2018;(2):268–272. <https://doi.org/10.18413/2411-3808-2018-45-2-268-272> (In Russ.).

20. Frohm J., Lindström V., Winroth M., Stahre J. The industry's view on automation in manufacturing. *Conference: 9th IFAC Symposium on Automated Systems Based on Human Skill and Knowledge. In: IFAC Proceedings Volumes*. 2006;39(4):453–458. <https://doi.org/10.3182/20060522-3-FR-2904.00073>

Информация об авторах

Шматова Маргарита Сергеевна – начальник бюро бизнес-планирования, филиал в Воронеже АО «Управляющая компания ЭФКО», 115035, Москва, Овчинниковская наб., д. 20, стр. 1, офис 1304, Российская Федерация; e-mail: m.shmatova@efko.ru

Сытов Евгений Викторович – инженер-конструктор робототехнических комплексов, филиал АО «Управляющая компания ЭФКО» в Алексеевке, 309850, Белгородская обл., Алексеевка, ул Фрунзе, д. 2, Российская Федерация; e-mail: evsytov@gmail.com

Воротников Сергей Анатольевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Робототехнические системы и мехатроника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва. 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, Российская Федерация; e-mail: s_vorotnikov@mail.ru

Information about the authors

Margarita S. Shmatova – Head of Business-Planning Bureau, EFKO Management Company, Voronezh Office, office 1304, 20/1 Ovchinnikovskaya naberezhnaya Str., Moscow 115035, Russian Federation; e-mail: m.shmatova@efko.ru

Evgeniy V. Sytov – Constructing Engineer of Robotic Complexes, EFKO Management Company, Alekseevka Office, 2 Frunze Str., Alekseevka, Belgorod region 309850, Russian Federation; e-mail: evsytov@gmail.com

Sergey A. Vorotnikov – PhD (Eng.), Associate Professor of Department of Robotic Systems and Mechatronics, Bauman State Technological University, 5 2nd Baumanskaya Str., Moscow 105005, Russian Federation; e-mail: s_vorotnikov@mail.ru

Поступила в редакцию 31.05.2021; поступила после доработки 12.09.2021; принята к публикации 19.09.2021

Received 31.05.2021; Revised 12.09.2021; Accepted 19.09.2021