

DOI 10.33952/2542-0720-2019-3-19-31-38

УДК 636.085.55+721.01

Брагинец С. В., Бахчевников О. Н.

**ПРИНЦИПЫ ПЕРЕХОДА ОТ ТРАДИЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ЛИНИЙ МАЛЫХ ЗЕРНОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ  
К МОДУЛЬНЫМ**

ФГБНУ «Аграрный научный центр “Донской”»

**Реферат.** Для быстрого внедрения новых технологий и технических средств для переработки зерна необходимо перейти от традиционной фиксированной структуры малого предприятия к реконфигурируемой. Наиболее рациональной формой организации современной реконфигурируемой производственной системы является модульное предприятие, формируемое из модульных технологических линий. Цель исследований – разработать теоретические принципы перехода от формирования технологических линий внутрихозяйственных предприятий по переработке зерна на базе дискретного оборудования к созданию модульных технологических линий. Исследования проводили в 2018–2019 гг. в Зерноградском районе Ростовской области. Объект исследования – модульные технологические линии малых внутрихозяйственных предприятий по переработке зерна, в том числе комбикормовых заводов. Исследования выполняли на основе положений системного анализа и синтеза и модульного принципа создания производственных систем. Технологическая модульная линия включает оборудование, обеспечивающее выполнение определенного блока операций технологического процесса. В модульной структуре каждая технологическая линия автономна, то есть обладает способностью самостоятельно осуществлять комплекс взаимосвязанных операций. Эти линии создают из стандартных конструктивных модулей с установленным оборудованием. В качестве конструктивного модуля принят интермодальный грузовой контейнер. Конструктивный модуль собирают и настраивают на предприятии-изготовителе. Технологический модуль состоит из соединенных совместимых конструктивных модулей, связанных транспортным оборудованием. Предложенная модульная архитектура малого предприятия является открытой и позволяет свободно комбинировать различные модули. Модульное малое предприятие по переработке зерна будет обладать всеми свойствами реконфигурируемой производственной системы. Проектирование малого зерноперерабатывающего предприятия в виде комплекса технологических модулей позволит осуществлять поэтапное изменение структуры технологического процесса без остановки производства, изменять его производительность при изменении функциональных задач, удовлетворять особые запросы заказчика.

**Ключевые слова:** переработка зерна, корм, реконфигурируемая система, технологическая линия, модуль, грузовой контейнер, малое предприятие, структура предприятия.

**Введение**

В настоящее время все более остро встает проблема создания новых и реконструкции существующих малых внутрихозяйственных предприятий по переработке зерна в соответствии с современными требованиями. Этому препятствует то, что эти требования могут изменяться уже по прошествии нескольких лет, что приводит к сокращению жизненного цикла предприятия [1]. Уменьшение продолжительности жизненного цикла предприятия и производимых

им продуктов, необходимость быстрого внедрения новых технологий и технических средств требуют создания заводов, основанных на новых принципах, отличных от принципов проектирования традиционных предприятий. В первую очередь, для этого необходимо перейти от традиционной фиксированной структуры малого предприятия к изменяемой (реконфигурируемой) [2]. Современная реконфигурируемая производственная система должна обладать такими свойствами, как трансформируемость (изменяемость), масштабируемость и интегрируемость [3].

Наиболее рациональной формой организации современной реконфигурируемой производственной системы является модульное предприятие, формируемое из модульных технологических линий [4]. Структура модульного завода, основанная на объединении машин и аппаратов, выполняющих группы взаимосвязанных операций, в технологические модули [5], обеспечивает сокращение сроков создания предприятия и его изменяемость, заключающуюся в быстрой адаптации к новым условиям.

**Цель исследований** – разработать теоретические принципы перехода от формирования технологических линий внутрихозяйственных предприятий по переработке зерна на базе дискретного оборудования к созданию модульных технологических линий.

В задачи исследований входило обосновать структуру модульных технологических линий для зерноперерабатывающих предприятий, а также возможную структуру и способ формирования модульных зерноперерабатывающих предприятий, состоящих из технологических модулей.

#### **Материалы и методы исследований**

Исследования проводили в 2018–2019 гг. в Зерноградском районе Ростовской области.

Объект исследования – модульные технологические линии малых внутрихозяйственных предприятий по переработке зерна, в том числе комбикормовых заводов, производительностью до 3 т/ч.

Исследования выполняли на основе положений системного анализа и синтеза [6], адаптированных для использования в инженерной сфере [7], и модульного принципа создания производственных систем [8, 9]. Использованы положения концепции «Factory-in-a-box» («Фабрика в коробке») [10].

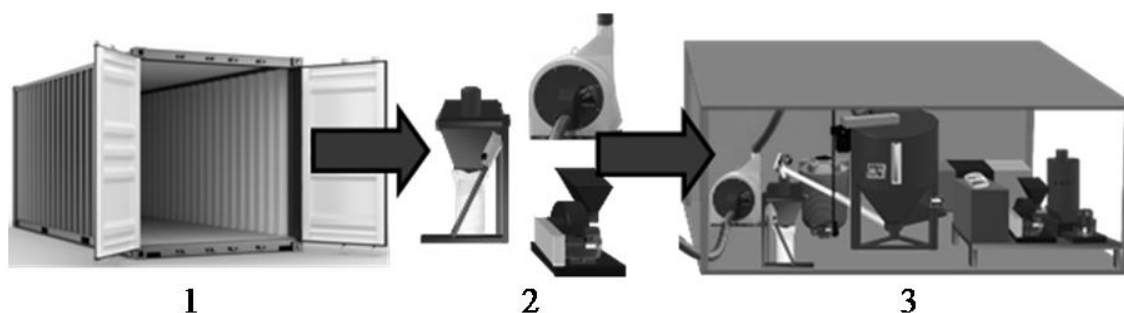
#### **Результаты и их обсуждение**

Современная реконфигурируемая производственная система переработки зерна должна состоять из совместимых технологических линий – модулей. Каждый такой модуль включает оборудование, обеспечивающее выполнение определенного базового фрагмента (блока операций) технологического процесса, например, измельчения зерна. Таким образом, цельная технологическая система предприятия разделяется на подсистемы (модули). В модульной структуре каждая технологическая линия должна быть автономной, то есть обладать способностью самостоятельно осуществлять комплекс взаимосвязанных технологических операций. Эта линия на технологическом уровне образует отдельную подсистему системы переработки зерна, которая получает сырье, обрабатывает его и передает в последующую подсистему, но в рамках собственного технологического процесса с остальными подсистемами не взаимодействует. Этим достигается интегрируемость модульных технологических линий в структуру как проектируемых, так и уже действующих предприятий. Автономная технологическая подсистема на машинно-аппаратном уровне образует технологический модуль.

Модульный принцип формирования производственных систем предполагает, помимо прочего, высокую степень готовности модуля к эксплуатации, поэтому

объединение машин и аппаратов, входящих в состав технологического модуля, рационально производить в рамках некоей единой транспортабельной конструкции (платформы). В настоящее время стандартом такой платформы для малых предприятий всех отраслей, фактически, стал интермодальный грузовой контейнер в 20-футовом ( $6 \times 2,5 \times 2,6$  м) и, реже, в 40-футовом ( $12 \times 2,5 \times 2,6$  м) исполнении [9]. При этом для размещения оборудования часто используют не закрытый контейнер, а его каркас с полом. Использование таких контейнеров обеспечивает мобильность и совместимость конструктивных модулей.

Конструктивный модуль создается на базе стандартного грузового контейнера путем установки в нем необходимого для выполнения группы операций (фрагмента технологического процесса) взаимосвязанного технологического и транспортного оборудования (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Формирование конструктивного модуля на базе стандартного грузового контейнера**

*Примечание.* 1. Стандартный грузовой контейнер; 2. Оборудование; 3. Конструктивный модуль с установленным в нем оборудованием.

Примером конструктивного модуля, выполняющего фрагмент технологического процесса, может служить модуль измельчения зернового сырья.

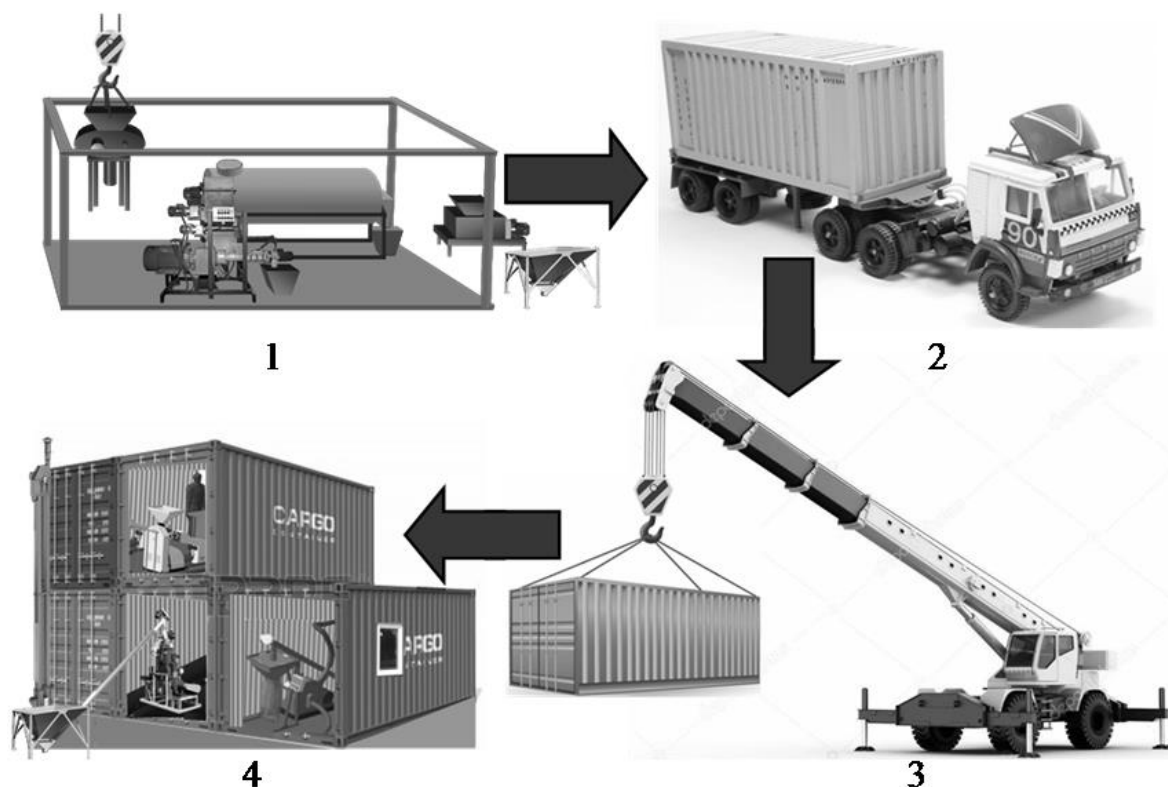
Конструктивный модуль собирается и настраивается на предприятии-изготовителе и поставляется заказчику в готовом к работе виде.

Естественно, для установки в конструктивных модулях подбирается оборудование соответствующих габаритов. Для его оптимального размещения в ограниченном объеме конструктивного модуля наиболее подходит эвристический метод последовательно-одиночного размещения [11]. Для его реализации разработан пошаговый алгоритм, предусматривающий поочередное размещение объектов оборудования в типовом модуле с учетом их места в технологической цепочке, габаритов, минимальных расстояний между объектами, минимальности длины связей с уже размещенными объектами и наложенных ограничений.

Но ограниченные размеры каркаса грузового контейнера препятствуют свободному размещению всего оборудования технологической линии. В таком случае выходом является использование каркаса контейнера в качестве конструктивного модуля, вмещающего в себя часть оборудования и являющегося структурной единицей технологического модуля, состоящего из соединенных конструктивных модулей, связанных транспортным оборудованием. Совместимость конструктивных модулей достигается наличием в них стандартных точек «входа-выхода» и соединительных элементов, а также одинаковыми габаритами.

Конструктивный модуль доставляется заказчику любым видом транспорта в состоянии максимальной готовности к эксплуатации. Конструктивные модули в количестве от двух до шести устанавливаются на предварительно подготовленном

легком фундаменте и соединяют в вертикальной и горизонтальной плоскостях с помощью предусмотренных на каркасах соединительных элементов, образуя одно- или многоуровневый технологический модуль (рисунок 2). При этом каркас конструктивных модулей образует каркас нового здания, а их боковые и верхние стенки – его стены и крышу. Технологическая линия (модуль) в открытом исполнении, то есть без стенок и крыши, может быть установлена в помещении ангарного типа.



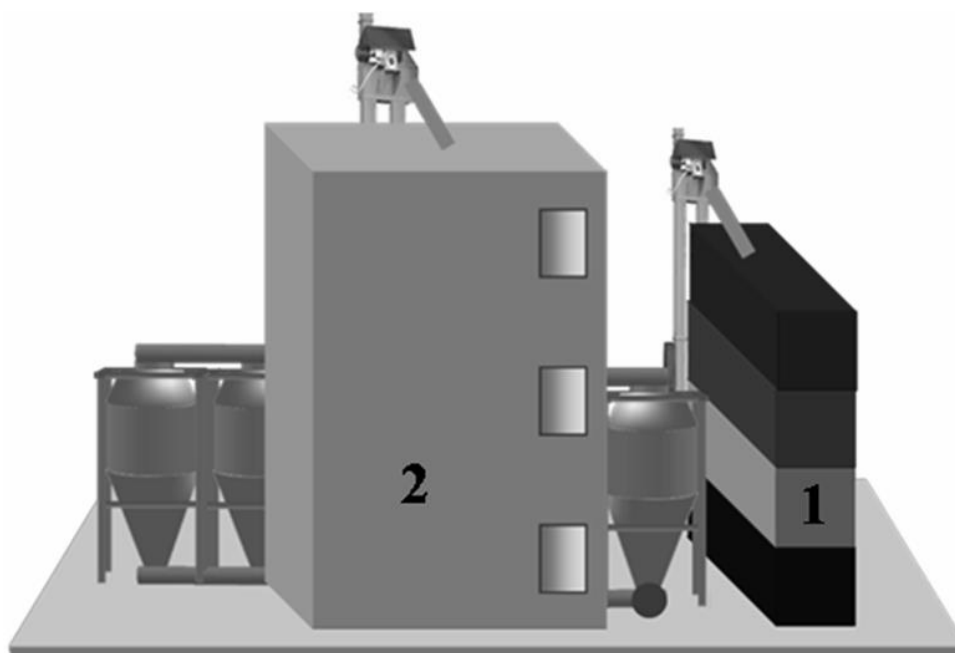
**Рисунок 2 – Создание технологического модуля из нескольких конструктивных модулей**

*Примечание.* 1. Сборка конструктивного модуля на предприятии-изготовителе; 2. Транспортировка готовых конструктивных модулей; 3. Монтаж технологического модуля; 4. Сборный технологический модуль.

Предложенная модульная архитектура малого предприятия является открытой и позволяет свободно комбинировать различные модули. При присоединении нового дополнительного модуля к проектируемому предприятию группа выполняемых в нем операций обработки сырья может образовать ответвление в общем технологическом потоке производства и выполняться параллельно с другими группами операций обработки другого вида сырья, соединяясь затем вновь в единый поток в модуле получения готового продукта, в частности комбикорма. Соответственно, такие технологические модули и размещаются параллельно. В случае невозможности параллельной работы модули включаются в технологическую схему предприятия последовательно с другими. Таким образом, структурная схема модульного предприятия, в зависимости от схемы технологического процесса, может быть как последовательной (линейной), так и «звездообразной».

Достоинством модульной технологической линии является также

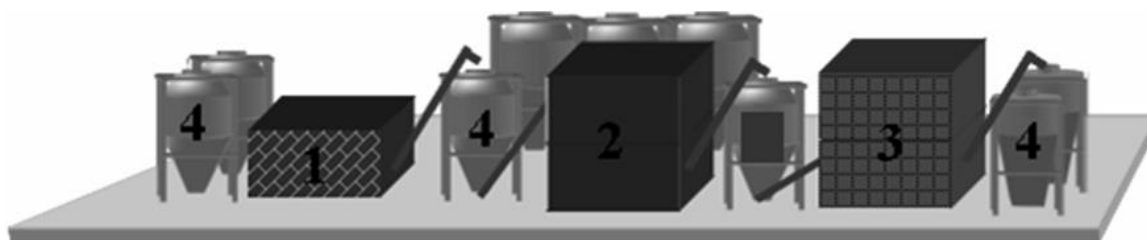
возможность ее интеграции в состав уже действующего малого предприятия, в том числе традиционной немодульной структуры. В таком случае каркасное здание модульной технологической линии рационально разместить рядом с производственным корпусом существующего внутрихозяйственного предприятия, соединив их транспортным оборудованием и емкостями для оперативного хранения сырья и продукции (рисунок 3). В качестве возможного варианта такой интеграции можно привести добавление модульной линии гранулирования к действующему малому комбикормовому заводу, ранее производившему лишь рассыпной корм.



**Рисунок 3 – Интеграция модульной технологической линии в состав действующего зерноперерабатывающего предприятия (комбикормового завода)**

*Примечание.* 1. Новая модульная технологическая линия; 2. Здание действующего комбикормового завода.

В качестве примера на рисунке 4 представлен малый комбикормовый завод модульной структуры, включающий технологические модули экструдирования сырья, его измельчения и смешивания, гранулирования рассыпного комбикорма. Здесь представлен вариант одноуровневого размещения конструктивных модулей, но возможен и вариант их вертикального размещения в форме трехуровневой «башни».



**Рисунок 4 – Малый комбикормовый завод модульной структуры**

*Примечание.* 1. Модуль экструдирования сырья; 2. Модуль измельчения и смешивания; 3. Модуль гранулирования комбикорма; 4. Бункеры для сырья и готового комбикорма.

Таким образом, модульное малое предприятие по переработке зерна будет обладать всеми свойствами реконфигурируемой производственной системы. Трансформируемость реализуется с помощью рекомбинации элементов модульной структуры, их добавления или удаления. Масштабируемость производственной системы реализуется путем кратного увеличения числа всех входящих в нее технологических модулей, что при параллельной работе одноименных модулей увеличивает производительность завода. Интегрируемость, как было показано выше, реализуется через возможность легкого включения новой модульной линии как в состав проектируемого, так и уже действующего предприятия.

### Выводы

Создание малых модульных зерноперерабатывающих предприятий обеспечивает повышение устойчивости и адаптируемости системы внутрихозяйственной переработки зерна путем преобразования ее традиционной неизменяемой структуры в трансформируемую с изменяемыми элементами (модульные технологические линии), имеющую потенциал для дальнейшего совершенствования и масштабирования. Проектирование малого предприятия в виде комплекса технологических модулей позволит осуществлять поэтапное изменение структуры технологического процесса без остановки производства, изменять его производительность при изменении функциональных задач, максимально удовлетворять требования заказчика.

### Литература

1. Liao Y., Deschamps F., Loures E. D. F. R., Ramos L. F. P. Past, present and future of Industry 4.0 – a systematic literature review and research agenda proposal // *International Journal of Production Research*. 2017. Vol. 55. No. 12. P. 3609–3629.
2. Coppini A., Saliba M. A. Towards practical guidelines for conversion from a fixed to a reconfigurable manufacturing automation system // *Procedia Manufacturing*. 2017. Vol. 11. P. 1102–1111.
3. Koren Y., Gu X., Guo W. Reconfigurable manufacturing systems: Principles, design, and future trends // *Frontiers of Mechanical Engineering*. 2018. Vol. 13. No. 2. P. 121–136.
4. Kampker A., Voet H., Burggraf P., Krunke M., Kreiskother K. Methodology for the development of modular factory systems // *FAIM Conference Proceedings*. 2014. P. 131–138.
5. Eilermann M., Post C., Radatz H., Bramsiepe C., Schembecker G. A general approach to module-based plant design // *Chemical Engineering Research and Design*. 2018. Vol. 137. P. 125–140.
6. Винограй Э. Г. Методологический аппарат системной оптимизации сложных объектов // *Социогуманитарный вестник*. 2014. № 1. С. 124–141.
7. Винограй Э. Г. Учет системных закономерностей в инженерном мышлении и проектировании // *Социогуманитарный вестник*. 2014. № 1. С. 142–154.
8. Shaik A. M., Rao V. V. S. K., Rao C. S. Development of modular manufacturing systems – a review // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2015. Vol. 76. No. 5–8. P. 789–802.
9. Adamietz R., Giesen T., Mayer P., Johnson A., Bibb R., Seifarth C. Reconfigurable and transportable container-integrated production system // *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 2018. Vol. 53. P. 1–20.
10. Jackson M., Zaman A. Factory-in-a-box – mobile production capacity on demand // *International Journal of Modern Engineering*. 2007. Vol. 8. No. 1. P. 12–26.
11. Малыгин Е. Н., Егоров С. Я., Шаронин К. А. Алгоритм автоматизированного построения математической модели при компоновке промышленных объектов // *Научно-техническая информация. Серия 2 «Информационные процессы и системы»*. 2015. № 2. С. 7–15.

### References

1. Liao Y., Deschamps F., Loures E. D. F. R., Ramos L. F. P. Past, present and future of Industry 4.0 – a systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research*. 2017. Vol. 55. No. 12. P. 3609–3629.
2. Coppini A., Saliba M. A. Towards practical guidelines for conversion from a fixed to a reconfigurable manufacturing automation system. *Procedia Manufacturing*. 2017. Vol. 11. P. 1102–1111.
3. Koren Y., Gu X., Guo W. Reconfigurable manufacturing systems: Principles, design, and future trends // *Frontiers of Mechanical Engineering*. 2018. Vol. 13. No. 2. P. 121–136.

4. Kampker A., Voet H., Burggraf P., Krunke M., Kreiskother K. Methodology for the development of modular factory systems // FAIM Conference Proceedings. 2014. P. 131–138.
5. Eilermann M., Post C., Radatz H., Bramsiepe C., Schembecker G. A general approach to module-based plant design // Chemical Engineering Research and Design. 2018. Vol. 137. P. 125–140.
6. Vinogray E. G. Methodological apparatus of system optimization of difficult objects // Social and Humanitarian Bulletin. 2014. No. 1. P. 124–141.
7. Vinogray E. G. The accounting of system regularities in engineering thinking and design. Social and Humanitarian Bulletin. 2014. No. 1. P. 142–154.
8. Shaik A. M., Rao V. V. S. K., Rao C. S. Development of modular manufacturing systems – a review // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2015. Vol. 76. No. 5-8. P. 789–802.
9. Adamietz R., Giesen T., Mayer P., Johnson A., Bibb R., Seifarth C. Reconfigurable and transportable container-integrated production system. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2018. Vol. 53. P. 1–20.
10. Jackson M., Zaman A. Factory-in-a-box – mobile production capacity on demand // International Journal of Modern Engineering. 2007. Vol. 8. No. 1. P. 12–26.
11. Malygin E. N., Egorov S. Ya., Sharonin K. A. Algorithm of automated creation of a mathematical model in case of configuration of industrial facilities // Scientific and Technical Information. Series 2 “Information Processes and Systems”. 2015. No. 2. P. 7–15.

UDC 636.085.55+721.01

Braginets S. V., Bakhchevnikov O. N.

#### **PRINCIPLES OF TRANSITION FROM TRADITIONAL PROCESS LINES OF SMALL-SCALE GRAIN PROCESSING FACTORIES TO MODULAR ONES**

*Summary.* For the fast implementation of new technologies and technical means for grain processing, it is necessary to transfer from the traditional fixed structure of small factory to reconfigurable ones. The most rational form of the modern reconfigurable production system is the modular enterprise consisting of modular processing lines. A research objective is to develop the theoretical principles for the transition from the processing lines of the intra-farm grain processing enterprises based on the discrete equipment to the creation of modular processing lines. The studies were conducted in 2018–2019 in the Zernogradsky district of Rostov region, Russia. A test subject is modular processing lines of the small intra-farm grain processing enterprise, including compound feed factories. The research was based on the systematic analysis and synthesis, as well as on the modular principle of manufacturing systems creation. The processing modular line includes equipment that provides a specific block of operations. In modular structure, each processing line is autonomous, i.e. can carry out a set of interrelated operations. These lines are created from standard constructive modules with the installed equipment. As the constructive module, the intermodal cargo container is accepted. The constructive module is assembled and set up by the manufacturer. The technological module consists of the connected compatible constructive modules connected by transport equipment. The offered modular architecture of such small enterprise is open and allows combining different modules freely. The modular small-scale grain processing factory will have all properties of a reconfigurable manufacturing system. The design of the small-scale grain processing factory in the form of technological modules will allow modifying the manufacturing structure step-by-step without stopping production process, changing its productivity due to the functional task changes, and satisfying special customer's requests.

**Keywords:** grain processing, feed, reconfigurable system, processing line, module, cargo container, small-scale factory, enterprise configuration.

Брагинец Сергей Валерьевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела переработки продукции растениеводства, структурное подразделение «СКНИИМЭСХ», ФГБНУ «Аграрный научный центр “Донской”»; 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 14; e-mail: sbraginets@mail.ru.

Бахчевников Олег Николаевич, кандидат технических наук, научный сотрудник отдела переработки продукции растениеводства, структурное подразделение «СКНИИМЭСХ», ФГБНУ «Аграрный научный центр “Донской”»; 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 14; e-mail: oleg-b@list.ru.

Braginets Sergey Valereyevich, Cand. Sc. (Tech.), leading researcher of the Department of vegetable feedstock processing, structural unit of SKNIIMESH, Agricultural Scientific Centre “Donskoy”; 14, Lenin str., Zernograd, Rostov Region, 347740, Russia; e-mail: sbraginets@mail.ru.

Bakhchevnikov Oleg Nikolayevich, Cand. Sc. (Tech.), researcher of the Department of vegetable feedstock processing, structural unit of SKNIIMESH, Agricultural Scientific Centre “Donskoy”; 14, Lenin str., Zernograd, Rostov Region, 347740, Russia; e-mail: oleg-b@list.ru.

*Дата поступления в редакцию – 14.04.2019.*

*Дата принятия к печати – 01.07.2019.*