

pISSN 2073-039X
eISSN 2311-8725

Математические методы и модели

ПРОБЛЕМА ОПТИМИЗАЦИИ ГРАФИКА ПЕРЕРАБОТКИ СКОРОПОРТЯЩЕЙСЯ СЕЛЬХОЗПРОДУКЦИИ*

Дмитрий Владимирович БАЛАНДИН ^a,

Юрий Алексеевич КУЗНЕЦОВ ^{b,*}

^a доктор физико-математических наук, профессор института информационных технологий, математики и механики, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского (ННГУ), Нижний Новгород, Российская Федерация
dmitriy.balandin@itmm.unn.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7727-5924>
SPIN-код: 5553-7128

^b доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой математического моделирования экономических процессов, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского (ННГУ), Нижний Новгород, Российская Федерация
Kuznetsov_YuA@iee.unn.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9436-3501>
SPIN-код: 7737-1570

* Ответственный автор

История статьи:

Рег. № 575/2021
Получена 25.10.2021
Получена в доработанном виде 02.11.2021
Одобрена 10.11.2021
Доступна онлайн 29.11.2021

УДК 330.4; 519.863;
631.243; 633.63

JEL: C02, C61, O13, Q16

Аннотация

Предмет. Экономическая, научно-технологическая и производственная деятельность перерабатывающих производств агропромышленного комплекса.

Цели. Проведение анализа и характеристика особенностей хранения скоропортящейся сельхозпродукции и их влияния как на ее дальнейшую переработку, так и на конечные результаты деятельности перерабатывающего предприятия.

Методология. Использованы методы анализа и синтеза, группировки и сравнения, абстрагирования, обобщения, аналогии. Построение и анализ математической модели, описывающей процесс переработки сахарной свеклы с учетом уровня ее сахаристости, проведен с применением методов математического моделирования и теории оптимизации.

Результаты. Проведенный в работе анализ влияния времени хранения скоропортящейся сельхозпродукции на ее дальнейшую переработку показал, что данный фактор может оказывать серьезное влияние на результаты деятельности перерабатывающего предприятия. Исследование данного вопроса проведено на примере такой важной технической культуры, как сахарная свекла. В качестве одного из важных факторов,

* Авторы выражают глубокую признательность доктору экономических наук, профессору Николаю Петровичу ЛЮБУШИНУ за советы и ценные замечания при работе над данной статьей.

Работа выполнена по договору № ССЗ-1771 от 22.04.2021 на выполнение НИОКТР на тему: «Создание высокотехнологичного производства сахара на базе АО «Сергачский сахарный завод» в рамках реализации Соглашения о предоставлении из федерального бюджета субсидии на развитие кооперации российской образовательной организации высшего образования и организации реального сектора экономики в целях реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства № 075-11-2021-038 от 24.06.2021 (ИГК 000000S407521QLA0002).

способных значительно улучшить результаты хозяйственной деятельности предприятий, выделено формирование графика очередности переработки корнеплодов сахарной свеклы с различным уровнем сахаристости.

Ключевые слова:

сахарная свекла,
хранение, кагат,
качество, переработка

Выводы. На основе анализа разработанной математической модели, описывающей процесс переработки сахарной свеклы с учетом уровня ее сахаристости установлено, что для максимизации выпуска конечной продукции (сахар) переработку сахарной свеклы следует начинать с партий свеклы с максимальной сахаристостью; приведены некоторые оценки, характеризующие уровень выпуска конечной продукции в случае нарушения сформулированного правила. Полученные в работе результаты могут быть полезными в практической деятельности перерабатывающих предприятий, а также положены в основу разработки более общих математических моделей, описывающих процесс переработки сахарной свеклы с учетом ряда других факторов, учитывающих в том числе динамику процесса пополнения кагатных полей сахарной свеклой различной сахаристости.

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2021

Для цитирования: Баландин Д.В., Кузнецов Ю.А. Проблема оптимизации графика переработки скоропортящейся сельхозпродукции // *Экономический анализ: теория и практика*. – 2021. – Т. 20, № 11. – С. 2134 – 2150.
<https://doi.org/10.24891/ea.20.11.2134>

Продовольственное обеспечение населения входит в число важнейших факторов, определяющих суверенитет страны. Проблема наличия, достаточности и доступности продовольствия для населения является составной частью обеспечения национальной безопасности. Как известно, устойчивое обеспечение населения страны экономически и физически доступными высококачественными продуктами питания в объемах, соответствующих научно обоснованным нормам потребления, является важнейшей задачей агропромышленного комплекса; ее успешное решение в значительной мере определяется эффективностью АПК как подсистемы экономики страны. При этом следует отметить также, что результативность деятельности АПК определяется многочисленными факторами, далеко не всегда имеющими экономический характер; скажем, важную роль играет (весьма слабо предсказуемый) погодный фактор.

Огромное и очень неоднозначно оцениваемое влияние на АПК оказали и продолжают оказывать внешние факторы – санкции (подробнее см., например, работы [1–5] и приведенную там библиографию).

Другой фактор, внутренне присущий производству сельскохозяйственной продукции, – это сезонность производства, то есть неравномерность выработки продукции в течение года, связанная с сезоном (временем года). Данная особенность находит свое выражение в подъеме, сокращении или даже полном прекращении производства в отдельные периоды года. Как известно, сезонность производства характерна для многих отраслей экономики, но наиболее отчетливо

свойства сезонности производства проявляются в сельском хозяйстве. Следствием ее является, в частности, присутствие сезонности и в некоторых перерабатывающих отраслях промышленности.

Сезонность производства в сельском хозяйстве во многом обусловлена спецификой самого сельского хозяйства. Этот фактор, в частности, оказывает огромное влияние на потребность в рабочей силе в разные периоды производства (проблема сезонности аграрного рынка труда). Но дело не только в этом.

Сами результаты производства, то есть получение готовой (в том или ином конкретном смысле) сельскохозяйственной продукции обычно крайне неравномерно распределено по времени в годичном экономическом цикле. Особенно ярко это проявляется в производстве зерна, в растениеводстве, производстве фруктов, ягод, а также в производстве технических культур (служащих сырьем для перерабатывающей промышленности, таких как сахарная свекла, подсолнечник, соя, рапс и др.).

Круг вопросов, связанных с хранением и переработкой сельскохозяйственной продукции, чрезвычайно широк. Мы затронем здесь только некоторые из них. Один из подобных вопросов – это своевременная доставка свежих плодов и овощей (в соответствующем виде, в упаковке и т.д.) потребителю. Как правило, это скоропортящаяся продукция (например, яблоки, особенно летние сорта, ягоды, виноград и т.д.). Это весьма непростая проблема, поскольку речь идет о необходимости их транспортирования на дальние расстояния (до 4 тыс. км). Некоторые плоды и фрукты, косточковые плоды, летние сорта яблок и груш, ягоды, огурцы, томаты при обычном холодильном режиме имеют крайне ограниченный период хранения и транспортировки (от нескольких дней до нескольких недель), что создает зачастую большие трудности в части загрузки, транспортировки и реализации таких грузов. Кроме того, пониженные температуры у некоторых плодов ведут к нарушению протекания биологических процессов, развитию физиологических заболеваний и повреждений. Установлено (подробнее см., например, работы [6, 7]), что одним из выходов в этой ситуации является обработка плодов различными специальными препаратами. Это во многих случаях дает возможность обеспечить ингибирование созревания и, соответственно, снизить потери от перезревания и грибных гнилей (в первую очередь в партиях плодов, снятых для перевозки в технической степени зрелости). Подобные технологии зачастую дают положительный результат и для зрелых плодов. Сходные подходы используются и в вопросах организации долгосрочного хранения картофеля и овощей, некоторых видов плодов и ягод¹.

¹ Жолік Г.А. Технология хранения и переработки картофеля, овощей, плодов и ягод. Минск: Ураджай, 2001. 135 с.; Иванова Т.Н., Житникова В.С., Левгеров Н.С. Технология хранения плодов, ягод и овощей. Орел: ОрелГТУ, 2009. 203 с.; Современные технологии хранения и переработки плодовоовощной продукции: аналитический обзор. М.: Росинформагротех, 2009. 172 с.; Федоренко В.Ф., Мишуков Н.П., Щеголихина Т.А. и др. Инновационные технологии производства, хранения и переработки сахарной свеклы: аналитический обзор. М.: Росинформагротех, 2020. 92 с.

Важным аспектом сельскохозяйственного производства наряду с проблемой сохранения в надлежащем состоянии является эффективная переработка сельхозпродукции. При этом речь идет не только о технических культурах. Например, продукция садоводства также в значительной мере подлежит переработке (джемы, варенье и пр.).

В каждом из указанных примеров хранения и переработки сельхозпродукции имеется определенная специфика, в силу которой в этом вопросе вряд ли возможна некая единая рецептура. Отметим, что перечисленные вопросы уже давно привлекали внимание ученых и практиков. В частности, в России накоплен значительный опыт по созданию технологий хранения различных видов скоропортящейся сельскохозяйственной продукции. Созданы современные перспективные технологии хранения плодов семечковых, косточковых и ягодных культур, яблок и других плодовых и технических культур².

Рассмотрим более подробно данную проблему на примере переработки для получения сахара такой важной технической культуры, как сахарная свекла.

Производство сахара является важной отраслью во многих странах мира, поскольку сахар имеет большое значение не только как один из важнейших продуктов питания, но и как сырье для других отраслей промышленности. Сахарное производство является одним из наиболее сложных и энергозатратных, а поэтому в настоящее время на первый план выходят такие его показатели, как качество, энергопотребление, себестоимость. Свеклосахарное производство играет особую роль и в АПК России.

Исторически к настоящему времени в России сложился свеклосахарный комплекс как совокупность хозяйствующих субъектов всех форм собственности, занимающихся научным обеспечением, селекцией, выращиванием и реализацией свекловичных семян и сахарной свеклы, производством сахара из свеклы и сахара-сырца.

Сахарная промышленность России характеризуется достаточно прочной «привязкой» к единственному отечественному источнику сырья – сахарной свекле, а потому и значительными рисками в производстве и переработке сахарной свеклы, которые обусловлены как влиянием природно-климатических факторов, так и разнообразием условий земледелия [8–10]. Действительно, потери свекломассы и сахарозы от приемки свеклы до получения свекловичной стружки зависят от ряда факторов: качества свеклы, укладываемой на хранение, погодных условий, сопровождающих хранение, технологических методов и приемов, обеспечивающих

² Современные технологии хранения и переработки плодовоовощной продукции: аналитический обзор. М.: Росинформагротех, 2009. 172 с.; Федоренко В.Ф., Мишуков Н.П., Щеголихина Т.А. и др. Инновационные технологии производства, хранения и переработки сахарной свеклы: аналитический обзор. М.: Росинформагротех, 2020. 92 с.

ее сохранность, состояния кагатного поля⁵ и оснащенности его средствами вентиляции, длительности и ритмичности производства и т.д.

Считается (см., например, работы [11–13]), что одним из основных способов снижения себестоимости продукции является увеличение длительности работы перерабатывающих заводов за счет правильного хранения сельхозпродукции, более рационального ее использования и переработки. В настоящее время период переработки сахарной свеклы составляет около 100 дней после начала уборки. Внедрение же современных ресурсосберегающих технологий хранения и переработки позволяет как увеличить длительность сезона ее переработки, так и повысить ее качество, предотвращая излишнюю потерю сахарозы в корнеплодах. Заметим, что использование ресурсосберегающих технологий и в более общем контексте – ресурсоориентированного подхода к экономическим процессам является одним из важнейших средств развития и модернизации экономики [14–16].

Хранение корнеплодов зачастую сопровождается излишними потерями свекломассы и сахарозы. Причиной таких потерь являются как неверный выбор режима хранения сырья⁴ [17–19], так и нерациональный график переработки сырья.

Остановимся несколько подробнее на последнем замечании о зачастую реализуемом в практике нерациональном (неоптимальном) графике переработки сырья. Обычно наибольшее внимание в ходе переработки уделяется тому, чтобы переработка свеклы завершилась в максимально короткие сроки сразу после ее уборки. В принципе это правильно, поскольку сокращение сроков лежки свеклы на кагатных полях уменьшает потери сахарозы при ее хранении; кроме того, часть свеклы, оставшаяся в полях пока еще не убранной, успевает несколько «подрасти» и увеличить содержание сахарозы (вместо непроизводительной лежки в кагатах). Однако немаловажную роль может играть и очередность переработки тех или иных партий свеклы, поступающих на переработку от различных хозяйств – производителей свеклы: хотя в данных природно-климатических условиях и в условиях не слишком длинного перечня сортов (гибридов) сахарной свеклы не приходится ожидать очень заметного разброса сахаристости свеклы, поступающей из разных хозяйств, этот разброс тем не менее существует. Он может быть более заметным, например, в случае, когда в хозяйствах значительно различается уровень агротехники, имеется пораженная болезнями свекла и т.д. [20, 21].

Далее приведено описание одной из простейших математических моделей оптимальной переработки скоропортящейся сельхозпродукции. В ней осуществляется учет минимального количества факторов, влияющих на результат переработки. Конечно, эта «минимальность» модели не позволяет учесть

⁵ В соответствии с ГОСТ Р 52678-2006, кагат – это насыпь корнеплодов сахарной свеклы правильной геометрической формы трапециевидального сечения; отношение высоты и ширины кагата – примерно 1:4 (слово «кагат» можно рассматривать как эквивалент слов «куча» или «бурт»). Кагатное поле – это площадка, подготовленная для хранения корнеплодов сахарной свеклы.

⁴ Сапронов А.Р., Сапронова Л.А., Ермолаев С.В. Технология сахара. СПб.: Профессия, 2013. 296 с.

многочисленные другие важные аспекты данного процесса, а поэтому может рассматриваться как некоторый недостаток. Однако именно эта «минимальность» модели позволяет получить с помощью элементарных математических методов весьма важный в практическом отношении вывод о характере (структуре) оптимального графика переработки сырья.

Описание математической модели и основной результат. Производительность перерабатывающих предприятий не позволяет сразу же перерабатывать всю поступающую на них свеклу, а поэтому имеется потребность в ее временном хранении, что и происходит на принадлежащих предприятию кагатных полях. Сохраняемая сахарная свекла определенными порциями ежедневно поступает в переработку. Обозначим массу ежедневно перерабатываемой свеклы символом m . Тогда общее количество перерабатываемой за сезон сахарной свеклы характеризуется величиной mn , где n – количество дней работы перерабатывающего предприятия.

Для некоторого упрощения модели примем «статическую» постановку задачи – будем считать, что в момент начала работы перерабатывающего предприятия его кагатные поля полностью заполнены подлежащей переработке свеклой в указанном ранее количестве. Каждая из подлежащих переработке порций в момент поступления на кагатные поля предприятия характеризуется определенным показателем сахаристости свеклы – некоторым положительным не превышающим единицу числом $a_j \in (0,1)$, $j = 1, 2, \dots, n$, так что максимальное количество сахара на выходе после переработки такой порции свеклы оценивается величиной ma_j . Для дальнейшего удобно считать, что выбрана такая нумерация порций свеклы, при которой выполняются неравенства

$$a_1 \geq a_2 \geq \dots \geq a_n \geq 0. \quad (1)$$

Условие (1) никак не сказывается на степени общности постановки данной задачи. За время хранения свеклы происходит некоторое снижение ее сахаристости. Этот процесс можно описать набором положительных чисел $B_n = \{b_s, s = 1, 2, \dots, n\}$, описывающим снижение уровня сахаристости свеклы в зависимости от продолжительности времени s ее вылежки на кагатных полях: чем длительнее пребывание свеклы на хранении, тем меньше остается в ее плодах сахарозы. По определению величина $b_s \in (0,1)$ характеризует долю сахарозы, оставшейся в свекле после s дней ее хранения. Ясно, что справедливы неравенства

$$b_1 \geq b_2 \geq \dots \geq b_n \geq 0. \quad (2)$$

Условие (2) непосредственно следует из содержательного смысла данных параметров. Если изначально уровень сахаристости порции j свеклы описывался

числом $a_j \in (0,1)$, то после s дней ее хранения уровень сахаристости этой «порции» будет описываться величиной $a_j b_s$.

Будем считать, что переработка свеклы осуществляется в соответствии с некоторым планом (графиком), который показывает, свеклу какой сахаристости следует перерабатывать в текущем периоде времени. Другими словами, для каждого момента времени $i = 1, 2, \dots, n$ установлен индекс $j(i)$, определяющий номер порции свеклы, подлежащей переработке на данном этапе (в момент времени) i . Таким образом, каждый из таких планов определяет некоторую перестановку отрезка $S_n = \{1, 2, \dots, n\}$ множества натуральных чисел $\mathbb{N}$. Формально такой план можно отождествить с некоторой «дискретной» функцией $j(\cdot): S_n \rightarrow S_n$. Таким образом, последовательность действий в рамках избранного плана представляется некоторой перестановкой J отрезка S_n , которая (в подробной записи) представима в следующем виде:

$$J = \{j(1), j(2), \dots, j(n)\} \equiv \{j(i), i \in S_n\}. \quad (3)$$

Множество всех планов вида (3) обозначим символом I_n .

Пусть выбран некоторый план переработки $J \in I_n$ вида (3). При его реализации общее количество произведенного сахара определится величиной

$$F(J) = m \sum_{i=1}^n a_{j(i)} b_i. \quad (4)$$

Естественным образом возникает вопрос о том, какой из планов переработки $J \in I_n$ вида (3) максимизирует выход (4). Сформулируем следующую задачу.

Оптимизационная задача 1. Найти «оптимальный» план

$$J^* = \{j^*(1), j^*(2), \dots, j^*(n)\} \equiv \{j^*(i), i \in S_n\},$$

то есть такой план, для которого справедливо неравенство $F(J^*) \geq F(J)$ для любого другого плана переработки $J \in I_n$ вида (3). Другими словами, план J^* есть решение задачи $F(J) \rightarrow \max$.

Наряду с данной задачей определенный интерес может представлять и другая – в определенном смысле двойственная – оптимизационная задача об оценке «наихудшего» варианта плана переработки свеклы.

Оптимизационная задача 2. Найти план

$$J_* = \{j_*(1), j_*(2), \dots, j_*(n)\} \equiv \{j_*(i), i \in S_n\},$$

отвечающий «наихудшему» варианту переработки свеклы, то есть такой план, для которого справедливо неравенство $F(J^*) \leq F(J)$ для любого другого плана $J \in I_n$ вида (3). Другими словами, план J^* есть решение задачи $F(J) \rightarrow \min$.

Введем в рассмотрение два варианта планирования.

Первый вариант плана – это «возрастающая (тождественная) перестановка»

$$J_1 = \{1, 2, \dots, n\} \equiv \{j_1(i) = i, i \in S_n\}.$$

Второй вариант – «убывающая перестановка»

$$J_2 = \{n, (n-1), (n-2), \dots, 2, 1\} \equiv \{j_2(i) = (n+1) - i, i \in S_n\}.$$

Оказывается, что решение обеих задач находится весьма просто и состоит в следующем.

Утверждение. Решением оптимизационной задачи 1 является план J_1 , так что $J^* = J_1$, а решением задачи 2 – план $J^* = J_2$.

Этим планам отвечают выходы продукции перерабатывающих предприятий

$$M_1 = m \sum_{i=1}^n a_i b_i \text{ и } M_2 = m \sum_{i=1}^n a_{(n+1)-i} b_i$$

соответственно. Всем остальным планам переработки отвечает «промежуточная» величина выпуска, то есть для любого другого плана переработки $J \in I_n$ вида (3) справедливо следующее двойное неравенство $M_2 \leq F(J) \leq M_1$.

Таким образом, для максимизации выпуска переработку сахарной свеклы следует начинать с партий (порций) свеклы с максимальной сахаристостью. Если же в первую очередь озадачиться переработкой сахарной свеклы с минимальной сахаристостью, то будет достигнут наихудший из всех возможных результатов.

Доказательство данного утверждения весьма просто и состоит в использовании хорошо известного классического «перестановочного неравенства» (rearrangement inequality). Это неравенство, по-видимому, впервые было опубликовано в работе [22]. Несмотря на достаточно элементарный характер, это неравенство весьма широко используется как в различных разделах современной математики (см., например, работы⁵ [23, 24] и др.), так и в прикладных исследованиях.

По итогам исследования можно сделать следующие выводы.

⁵ Математика в задачах / под ред. А.А. Заславского, Д.А. Пермякова, А.Б. Скопенкова, М.Б. Скопенкова, А.В. Шаповалова. М.: МЦНМО, 2009. 488 с.

На примере одной важной технической культуры (сахарная свекла) нами проведен анализ влияния условий хранения, уровня агротехники, сроков сбора урожая и ряда других факторов на техническое состояние скоропортящейся сельхозпродукции и ее дальнейшую переработку.

В качестве одного из важных факторов, способных серьезно повлиять на результаты хозяйственной деятельности перерабатывающих предприятий, выделено формирование графика очередности переработки корнеплодов сахарной свеклы с различным уровнем сахаристости.

Разработана простая математическая модель, описывающая процесс переработки сахарной свеклы с учетом уровня ее сахаристости.

Установлено, что для максимизации выпуска конечной продукции (сахар) переработку сахарной свеклы следует начинать с партий свеклы с максимальной сахаристостью; приведены некоторые оценки, характеризующие уровень выпуска конечной продукции в случае нарушения сформулированного правила. Данные результаты могут быть полезными в практической деятельности перерабатывающих предприятий.

Полученные результаты могут быть положены в основу разработки более общих математических моделей, описывающих процесс переработки сахарной свеклы с учетом ряда других факторов, и учитывающих в том числе динамику процесса пополнения кагатных полей сахарной свеклой различной сахаристости.

Список литературы

1. Клинова М.В., Сидорова Е.А. Экономические санкции и их влияние на хозяйственные связи России с Европейским союзом // Вопросы экономики. 2014. № 12. С. 67–79. URL: <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2014-12-67-79>
2. Ушаев И.Г. Научные проблемы импортозамещения и формирования экспортного потенциала в агропромышленном комплексе России // Импортозамещение в АПК России: проблемы и перспективы: монография. М.: Всероссийский НИИ экономики сельского хозяйства, 2015. С. 14–38.
3. Экономические санкции против России: ожидания и реальность: монография / под ред. Р.М. Нуреева. М.: КноРус, 2017. 194 с.
4. Оболенский В.П. Эффекты продовольственного эмбарго // Российский внешнеэкономический вестник. 2019. № 2. С. 49–58.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effekty-prodovolstvennogo-embargo>
5. Алтухов А.И. Парадигма продовольственной безопасности России: монография. М.: Фонд «Кадровый резерв», 2019. 685 с.

6. *Гудковский В.А., Кожина Л.В., Назаров Ю.Б., Гучева Р.Б.* Современные технологии хранения и их влияние на качество плодов яблони // *Достижения науки и техники АПК*. 2016. Т. 30. № 9. С. 105–114.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-tehnologii-hraneniya-i-ih-vliyanie-na-kachestvo-plodov-yabloni>
7. *Гудковский В.А., Кожина Л.В., Назаров Ю.Б., Балакирев А.Е.* Современные и перспективные технологии хранения плодов семечковых, косточковых и ягодных культур // *Достижения науки и техники АПК*. 2017. Т. 31. № 7. С. 39–43.
8. *Аничин В.Л.* Теория и практика управления производственными ресурсами в свеклосахарном подкомплексе АПК: монография. Белгород: Белгородская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Я. Горина, 2005. 280 с.
9. *Калиничева Е.Ю., Гуляева Т.И.* Ценообразование в сахарной промышленности как приоритет обеспечения продовольственной безопасности страны // *Аграрная Россия*. 2016. № 12. С. 36–41.
URL: <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2016-12-36-41>
10. *Аничин В.Л., Евсеева Т.С.* Организационно-экономические меры по обеспечению сбалансированной работы предприятий свеклосахарного подкомплекса // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018. № 2. С. 56–60. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsionno-ekonomicheskie-mery-po-obespecheniyu-sbalansirovannoy-raboty-predpriyatiy-sveklosaharnogo-podkompleksa>
11. *Мансуров Р.Е.* Подходы к оптимизации загрузки производственных мощностей сахарных заводов агропромышленных холдингов с целью повышения их экономической эффективности // *Аграрная Россия*. 2007. № 4. С. 21–23.
URL: <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2007-4-21-23>
12. *Завражнов А.И., Кольцов С.М.* Обоснование и разработка технологии хранения сахарной свеклы в кагатах в условиях Центрально-Черноземного региона // *Сахар*. 2020. № 1. С. 38–44. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obosnovanie-i-razrabotka-tehnologii-hraneniya-saharnoy-svyokly-v-kagatah-v-usloviyah-tsentralno-chnoazyomnogo-regiona>
13. *Завражнов А.И. и др.* Ресурсосберегающая технология и техника производства сахарной свеклы: монография. СПб.: Лань, 2019. 164 с.
14. *Ревякин Е.Л., Табаишников А.Т., Самойленко Е.М., Драгайцев Е.И.* Ресурсосберегающие технологии: состояние, перспективы, эффективность. М.: Росинформагротех, 2011. 156 с.

15. Далисова Н.А., Степанова Э.В. Диверсификация сельскохозяйственного производства на основе ресурсосбережения // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2018. № 6. С. 58–68.
URL: <https://vaael.ru/ru/article/view?id=127>
16. Ендовицкий Д.А., Бабичева Н.Э., Любушин Н.П. Использование ресурсоориентированного подхода в оценке системной сбалансированности экономики // Экономический анализ: теория и практика. 2018. Т. 17. Вып. 12. С. 1298–1309. URL: <https://doi.org/10.24891/ea.17.12.1298>
17. Морозов А.Н., Пружин М.К., Косулин Г.С. Теоретические аспекты промышленного хранения сахарной свеклы // Хранение и переработка сельхозсырья. 2017. № 10. С. 5–9.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/teoreticheskie-aspekty-promyshlennogo-hraniya-saharnoy-svekly>
18. Жеряков Е.В., Котлов С.А. Изменение технологических качеств корнеплодов сахарной свеклы при полевом хранении в кагатах // Нива Поволжья. 2017. № 3. С. 27–33. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmenenie-tehnologicheskikh-kachestv-korneplodov-saharnoy-svekly-pri-polevom-hrании-v-kagatah>
19. Тужилкин В.И., Клемешов Д.А., Доненко Г.А., Лукин Н.Д. Оперативный учет и контроль свеклосахарного производства // Хранение и переработка сельхозсырья. 2019. № 1. С. 20–34.
URL: <https://www.spfp-mgupp.ru/jour/article/view/4>
20. Стогниенко О.И., Селиванова Г.А. Видовой состав и характеристика возбудителей кагатной гнили // Сахарная свекла. 2012. № 9. С. 39–40.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vidovoy-sostav-vozbuditeley-kagatnoy-gnili-saharnoy-svekly-pri-kratkosrochnom-hrании-v-polevyh-burtah>
21. Коробова Л.А., Кульнева Н.Г. Прогнозирование развития кагатной гнили сахарной свеклы в зависимости от параметров среды // Хранение и переработка сельхозсырья. 2020. № 4. С. 79–88.
URL: <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.344>
22. Харди Г.Г., Литтльвуд Дж.Е., Полиа Г. Неравенства. М.: Государственное издательство иностранной литературы, 1948. 453 с.
23. Cvetkovski Z. Inequalities: Theorems, Techniques and Selected Problems. Heidelberg – Dordrecht – London – New York, Springer, 2010, 439 p.
24. Chen Y. Problem Solving Using the Rearrangement Inequality. Create Space Independent Publishing Platform, 2019, 221 p.

Информация о конфликте интересов

Мы, авторы данной статьи, со всей ответственностью заявляем о частичном и полном отсутствии фактического или потенциального конфликта интересов с какой бы то ни было третьей стороной, который может возникнуть вследствие публикации данной статьи. Настоящее заявление относится к проведению научной работы, сбору и обработке данных, написанию и подготовке статьи, принятию решения о публикации рукописи.

pISSN 2073-039X
eISSN 2311-8725

Mathematical Methods and Models

THE PROBLEM OF OPTIMIZING THE SCHEDULE OF PERISHABLE AGRICULTURAL PRODUCTS PROCESSING

Dmitrii V. BALANDIN ^a,

Yurii A. KUZNETSOV ^{b,*}

^a National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod (UNN),
Nizhny Novgorod, Russian Federation
dmitriy.balandin@itmm.unn.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7727-5924>

^b National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod (UNN),
Nizhny Novgorod, Russian Federation
Kuznetsov_YuA@iee.unn.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9436-3501>

* Corresponding author

Article history:

Article No. 575/2021
Received 25 October 2021
Received in revised form
2 November 2021
Accepted 10 Nov 2021
Available online
29 November 2021

JEL classification: C02,
C61, O13, Q16

Keywords: sugar beet,
storage, beet pile, quality,
processing

Abstract

Subject. The article addresses the economic, scientific, technological, and production activities of processing plants within the agri-industrial complex.

Objectives. The study aim to analyze and describe the specifics of storing perishable agricultural products, and the impact on both the further processing and final results of a processing enterprise.

Methods. We employ methods of analysis and synthesis, grouping and comparison, abstraction, generalization, and analogy. We provide a mathematical model that describes the sugar beet processing, taking into account the level of sugar content, based on methods of mathematical modeling and optimization theory.

Results. Our analysis of the influence of storage time of perishable agricultural products on their further processing showed that this factor can have a serious impact on the results of processing enterprises. We investigated the issue, using the case of such an important technical culture as sugar beet. We highlight an important factor, which can significantly improve the results of economic activity of enterprises, i.e. the formation of a schedule for the order of processing of sugar beet with different levels of sugar content.

Conclusions. To maximize the final output, the sugar beet processing should start with batches of maximum sugar content. We provide assessments, characterizing the level of final output, should this rule be violated. The findings may serve as a basis for developing more general mathematical models, which describe the sugar beet processing and consider other factors, including the dynamics of the process of beet pile fields replenishment with sugar beet of various sugar content.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2021

Please cite this article as: Balandin D.V., Kuznetsov Yu.A. The Problem of Optimizing the Schedule of Perishable Agricultural Products Processing. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 2021, vol. 20, iss. 11, pp. 2134–2150.
<https://doi.org/10.24891/ea.20.11.2134>

Acknowledgments

We express our gratitude and deep appreciation to Nikolai P. LYUBUSHIN, Doctor of Economics, Professor, for his valuable advice and comments on the article.

The study was performed under Contract № CC3-1771, dated April 22, 2021, for R&D project, *Creation of High-tech Sugar Production on the Basis of AO Sergach Sugar Plant*, as part of Agreement on subsidy from the Federal budget for cooperation development between the Russian educational organization of higher education and organization of the real sector of the economy, to implement comprehensive project № 075-11-2021-038 of 24.06.2021 (ИГК 000000S407521QLA0002), on high-tech production creation.

References

1. Klinova M.V., Sidorova E.A. [Economic Sanctions and EU-Russia Economic Relations]. *Voprosy Ekonomiki*, 2014, no. 12, pp. 67–79. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2014-12-67-79>
2. Ushachev I.G. *Nauchnye problemy importozameshcheniya i formirovaniya eksportnogo potentsiala v agropromyshlennom komplekse Rossii. V kn. Importozameshchenie v APK Rossii: problemy i perspektivy: monografiya* [Scientific problems of import substitution and formation of export potential in the agro-industrial complex of Russia. In: Import substitution in the agro-industrial complex of Russia: Problems and prospects: a monograph]. Moscow, All-Russian Research Institute of Agricultural Economics Publ., 2015, pp. 14–38.
3. *Ekonomicheskie sanktsii protiv Rossii: ozhidaniya i real'nost': monografiya* [Economic Sanctions against Russia: Expectations and Reality: a monograph]. Moscow, KnoRus Publ., 2017, 194 p.
4. Obolenskii V.P. [Food embargo effects]. *Rossiiskii vneshneekonomicheskii vestnik = Russian Foreign Economic Journal*, 2019, no. 2, pp. 49–58.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effekty-prodovolstvennogo-embargo>
(In Russ.)
5. Altukhov A.I. *Paradigma prodovol'stvennoi bezopasnosti Rossii: monografiya* [Paradigm of food security of Russia: a monograph]. Moscow, Fond Kadrovyi rezerv Publ., 2019, 685 p.
6. Gudkovskii V.A., Kozhina L.V., Nazarov Yu.B., Gucheva R.B. [Modern storage technologies and their impact on quality of apples]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2016, vol. 30, no. 9, pp. 105–114.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-tehnologii-hraneniya-i-ih-vliyanie-na-kachestvo-plodov-yabloni> (In Russ.)

7. Gudkovskii V.A., Kozhina L.V., Nazarov Yu.B., Balakirev A.E. [Modern and promising technologies of fruit storage of pomiferous, drupaceous and small-fruit crops]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2017, vol. 31, no. 7, pp. 39–43. (In Russ.)
8. Anichin V.L. *Teoriya i praktika upravleniya proizvodstvennymi resursami v sveklosakharnom podkomplekse APK: monografiya* [Theory and practice of production resources management in the beet sugar subcomplex of the agro-industrial complex: a monograph]. Belgorod, Belgorod State Agricultural Academy named after V. Gorin Publ., 2005, 280 p.
9. Kalinicheva E.Yu., Gulyaeva T.I. [Pricing in the sugar industry as a priority to ensure food security of the country]. *Agrarnaya Rossiya = Agrarian Russia*, 2016, no. 12, pp. 36–41. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2016-12-36-41>
10. Anichin V.L., Evseeva T.S. [Organizational and economic measures to ensure balanced work of sugar beet enterprises subcomplex]. *Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Bulletin of Kursk State Agricultural Academy*, 2018, no. 2, pp. 56–60.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsionno-ekonomicheskie-mery-po-obespecheniyu-sbalansirovannoy-raboty-predpriyatiy-sveklosaharnogo-podkompleksa> (In Russ.)
11. Mansurov R.E. [Approaches to optimization of capacity utilization of sugar plants of agro-industrial holdings to increase their efficiency]. *Agrarnaya Rossiya = Agrarian Russia*, 2007, no. 4, pp. 21–23. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2007-4-21-23>
12. Zavrazhnov A.I., Kol'tsov S.M. [Substantiation and development of technology for sugar beet storage in piles in terms of the Central Black Earth region]. *Sakhar = Sugar*, 2020, no. 1, pp. 38–44.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obosnovanie-i-razrabotka-tehnologii-hraneniya-saharnoy-svyokly-v-kagatah-v-usloviyah-tsentralno-chnozymnogo-regiona> (In Russ.)
13. Zavrazhnov A.I. et al. *Resursosberegayushchaya tekhnologiya i tekhnika proizvodstva sakharnoi svekly: monografiya* [Resource-saving technology and technique of sugar beet production: a monograph]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2019, 164 p.
14. Revyakin E.L., Tabashnikov A.T., Samoilenko E.M., Dragaitsev E.I. *Resursosberegayushchie tekhnologii: sostoyanie, perspektivy, effektivnost'* [Resource-saving technologies: Condition, prospects, efficiency]. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 2011, 156 p.

15. Dalisova N.A., Stepanova E.V. [Diversification of agricultural production on the basis of resource saving]. *Vestnik Altaiskoi akademii ekonomiki i prava = Journal of Altai Academy of Economics and Law*, 2018, no. 6, pp. 58–68.
URL: <https://vaael.ru/ru/article/view?id=127> (In Russ.)
16. Endovitskii D.A., Babicheva N.E., Lyubushin N.P. [Using a resource-oriented approach to assess the economy's system-wide balance]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic Analysis: Theory and Practice*, 2018, vol. 17, iss. 12, pp. 1298–1309. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.24891/ea.17.12.1298>
17. Morozov A.N., Pruzhin M.K., Kosulin G.S. [Theoretical aspects of industrial storage of sugar beet]. *Khrenenie i pererabotka sel'khozsyrya = Storage and Processing of Farm Products*, 2017, no. 10, pp. 5–9.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/teoreticheskie-aspekty-promyshlennogo-hreneniya-saharnoy-svekly> (In Russ.)
18. Zheryakov E.V., Kotlov S.A. [The change of technological characteristics of sugar beet in field storage clamps]. *Niva Povolzh'ya = Volga Region Farmland*, 2017, no. 3, pp. 27–33.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmenenie-tehnologicheskikh-kachestv-korneplodov-saharnoy-svekly-pri-polevom-hrenenii-v-kagatah> (In Russ.)
19. Tuzhilkin V.I., Klemeshov D.A., Donenko G.A., Lukin N.D. [Operational Accounting and Control of Sugar-Beet Manufacturing]. *Khrenenie i pererabotka sel'khozsyrya = Storage and Processing of Farm Products*, 2019, no. 1, pp. 20–34.
URL: <https://www.spfp-mgupp.ru/jour/article/view/4> (In Russ.)
20. Stognienko O.I., Selivanova G.A. [Species composition of pathogens of clamp rot of sugar beet in short-term storage in the field clamps]. *Sakharnaya svekla = Sugar Beet*, 2012, no. 9, pp. 39–40.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vidovoy-sostav-vozbuditeley-kagatnoy-gnili-saharnoy-svekly-pri-kratkosrochnom-hrenenii-v-polevyh-burtah> (In Russ.)
21. Korobova L.A., Kul'neva N.G. [Predicting the Development of Clamp Rot of Sugar Beet Depending on the Parameters of the Environment]. *Khrenenie i pererabotka sel'khozsyrya = Storage and Processing of Farm Products*, 2020, no. 4, pp. 79–88. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.344>
22. Hardy G.H., Littlewood J.E., Polya G. *Neravenstva [Inequalities]*. Moscow, Gosudarstvennoe izdatel'stvo inostrannoi literatury Publ., 1948, 453 p.
23. Cvetkovski Z. *Inequalities: Theorems, Techniques and Selected Problems*. Heidelberg – Dordrecht – London – New York, Springer, 2010, 439 p.

24. Chen Y. Problem Solving Using the Rearrangement Inequality. Create Space Independent Publishing Platform, 2019, 221 p.

Conflict-of-interest notification

We, the authors of this article, bindingly and explicitly declare of the partial and total lack of actual or potential conflict of interest with any other third party whatsoever, which may arise as a result of the publication of this article. This statement relates to the study, data collection and interpretation, writing and preparation of the article, and the decision to submit the manuscript for publication.