

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
**«КУРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР»**  
(ФГБНУ «Курский ФАНЦ»)

**Л. И. Беляева, М. И. Егорова, Л. Н. Пузанова,  
А. В. Остапенко, Л. Ю. Смирнова**

# **ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ ПЕРЕРАБОТКИ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ НИЗКОГО КАЧЕСТВА**





МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ  
«КУРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР»  
(ФГБНУ «КУРСКИЙ ФАНЦ»)

Л. И. Беляева, М. И. Егорова, Л. Н. Пузанова, А. В. Остапенко, Л. Ю. Смирнова

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ  
ПЕРЕРАБОТКИ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ  
НИЗКОГО КАЧЕСТВА**

Курск 2024

УДК 664.1:633.63:664.1.03:577.1

ББК 36.84

Б 44

Беляева Любовь Ивановна

**Обоснование технологических приемов переработки сахарной свеклы низкого качества** [Текст] : брошюра / Л. И. Беляева, М. И. Егорова, Л. Н. Пузанова, А. В. Остапенко, Л. Ю. Смирнова. – Курск : ФГБНУ «Курский ФАНЦ», 2024. – 70 с. : 16 ил., 7 табл. – ISBN 978-5-6052912-4-4

Данная брошюра посвящена рассмотрению научных и практических аспектов переработки сахарной свеклы низкого качества – инфицированной слизеобразующими бактериями. В ней приведены общие сведения о бактериальной инфицированности сахарной свеклы при вегетации и хранении; рассмотрена система диффузионного сока как основная локация их жизнедеятельности при переработке сырья; с позиции новых знаний описаны формы существования бактерий в пищевых системах. Изложены теоретические аспекты ингибирования бактериальной инфицированности процесса экстрагирования сахарозы на основе организации направленного взаимодействия применяемых технологических вспомогательных средств. Приведены технологические приемы переработки инфицированной слизеобразующими бактериями сахарной свеклы путем заданного последовательного применения функциональных технологических вспомогательных средств.

Брошюра предназначена в качестве практического и справочного пособия для специалистов, занимающихся вопросами производства и переработки сахарной свеклы. Она также будет полезна студентам и преподавателям профильных специальностей.

Рецензент:

*доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры растениеводства, селекции и семеноводства ФГБОУ ВО «Курский государственный аграрный университет имени И. И. Иванова» Засорина Э. В.*

Брошюра рассмотрена и одобрена Ученым советом ФГБНУ «Курский ФАНЦ» (протокол № 12 от 07.11.2024 г.)

Работа выполнена в соответствии с темой государственного задания FGZU-2023-002 ФГБНУ «Курский ФАНЦ».

© Беляева Л. И., Егорова М. И., Пузанова Л. Н.,  
Остапенко А. В., Смирнова Л. Ю., 2024  
© Курский федеральный аграрный научный центр, 2024

ISBN 978-5-6052912-4-4

---

## **ВВЕДЕНИЕ**

В последние годы в России валовые сборы сахарной свеклы для производства белого сахара находятся на уровне 50 млн т, из них около 40 % проходит стадию длительного хранения. При хранении корнеплоды подвержены негативным воздействиям окружающей среды, в т.ч. заболеваниям бактериальной этиологии, приводящим к изменению их химического состава, что обуславливает снижение их технологических качеств. С точки зрения технологии сахара наиболее проблемными являются слизеобразующие бактерии. Развитие и перемещение слизистых бактерий по технологическому потоку приводит к накоплению в пищевой системе нежелательных веществ: высокомолекулярных полисахаридов, редуцирующих веществ, органических кислот и пр. Эти вещества тормозят протекание всех технологических процессов в линии, ухудшают качество полуфабрикатов технологического потока и вырабатываемого белого сахара, снижается также выход готового продукта.

При переработке инфицированной слизеобразующими бактериями сахарной свеклы в процессе экстрагирования сахарозы используют технологические вспомогательные средства функциональных групп антимикробные средства и пеногасители с длительной историей применения. В последнее время получили применение и ферментные препараты. Однако оптимальные дозы и точки введения средств установлены с позиции узкой технологической цели их индивидуального применения в каждом локальном процессе не во взаимосвязи друг с другом, что неэффективно с позиции всего технологического потока для разных комбинаций ряда средств.

Для специалистов технологических служб сахарного завода важны знание и понимание научных основ совместного применения функциональных технологических средств для развития профессионального потенциала и эффективного решения производственных задач.

Брошюра представляет собой краткое изложение теоретических и практических аспектов ингибирования бактериальной инфицированности процесса экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки на основе организации направленного взаимодействия применяемых функциональных технологических вспомогательных средств.

Она составлена с учетом новых знаний о поведении микроорганизмов в технологических потоках пищевых производств и в области взаимодействия применяемых в комбинации химических веществ. Указанное позволило научно обоснованно, системно подойти к определению последовательности, доз и точек ввода каждого средства при совместном их применении.

Брошюра подготовлена сотрудниками лаборатории технологий сахара и методов контроля продукции ФГБНУ «Курский ФАНЦ» (Беляева Л. И., глава 3, заключение; Егорова М. И., главы 1, 2; Пузанова Л. Н., введение, раздел 3.3; Остапенко А. В., раздел 3.2; Смирнова Л. Ю., глава 1).

---

# **Глава 1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О БАКТЕРИАЛЬНОЙ ИНФИЦИРОВАННОСТИ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ ПРИ ВЕГЕТАЦИИ И ХРАНЕНИИ**

Сахарная свекла – промышленное растительное сырье для производства белого сахара – подвергается заболеваниям во все периоды своего роста и развития от посева до уборки урожая, а также в процессе хранения корнеплодов. В зависимости от причин заболеваний различают следующие болезни сахарной свеклы: небиологического происхождения – возникающие в результате воздействия на растения неблагоприятных почвенно-климатических условий, механических повреждений и т.д.; бактериальные и грибковые – вызываемые и протекающие в растениях под воздействием фитопатогенов бактерий и грибов; вирусные – обусловленные заражением растений вирусами. Сахарная свекла при вегетации поражается 43 видами фитопатогенных грибов, 13 видами вирусов и 13 видами бактерий; при хранении с кагатной гнилью связаны не менее 150 видов грибов и 20 видов бактерий.

Болезни периода вегетации могут поражать как всходы, так и различные органы растения: листья, стебли, корнеплод. Жизнедеятельность микроорганизмов в период вегетации вызывает снижение продуктивности и ухудшение технологических качеств сахарной свеклы, которые зависят не только от характера заболевания, но и от срока поражения. Считается, что сильнее всего заболевание проявляется на сахарной свекле, если оно происходит во время наиболее активного периода фотосинтеза. Сущность фитопатологического воздействия микроорганизмов на сахарную свеклу состоит в том, что под влиянием выделяемых ими токсинов изменяются нормальное течение и свойственное клеткам обычное направление биохимических процессов фотосинтеза, дыхания, транспирации, обмена веществ – усиливаются процессы гидролиза сахарозы и одновременно резко

подавляется окислительная способность тканей. Зараженность болезнями в целом снижает урожайность корнеплодов на 17...20 %, в годы эпифитотий – от 50 % до полной гибели посевов.

Изменение климата в ЦЧР России за последние десятилетия привели к увеличению средней температуры воздуха на 2,7...2,8 °С, снижению количества осадков на 100 мм, повышению температуры почвы в летний период до аномальных 60 °С. В результате обозначилась тенденция снижения общей численности грибов и обеднение их видового состава, на этом фоне увеличилась частота встречаемости бактериозов и увеличение их вредоносности.

В настоящее время встречаются следующие бактериальные болезни сахарной свеклы при вегетации и хранении (табл. 1).

Особенностью развития бактериозов является то, что их возбудители сохраняются и накапливаются в почве, неперегнивших растительных остатках, семенах, сорняках. При достижении некоторого критического уровня они при определенных условиях во время вегетации распространяются через механические повреждения, насекомыми или при уходе за растениями, вызывая заболевания с резким падением урожайности культуры. Фитопатогенные бактерии, особенно псевдомонады, наносят ущерб растениям в начале вегетации на фоне высокой влажности почвы и воздуха, а затем провоцируют колонизацию растений вторичными фитопатогенами и сапрофитами.

Из распространенных в России бактериозов сахарной свеклы наиболее вредоносной у листового аппарата считается бактериальная пятнистость (ожог). Первичное заражение этой болезнью встречается в местах откладки яиц свекловичным долгоносиком-стеблеедом и связано с возбудителем *Pseudomonas syringae* pv. *Aptata*, к которому присоединяются возбудители бактериозов *P. carotovorum* и *P. Betavascularum*, а в последующем и вторичный патоген *P. agglomerans*.

Таблица 1 – Перечень бактериозов сахарной свеклы при вегетации и хранении [40]

Болезнь	Возбудитель	Симптомы болезни
<b>Болезни вегетации</b>		
Болезни листового аппарата		
Бактериальная пятнистость (ожог)	<i>Pseudomonas syringae</i> van Hall, <i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>aptata</i>	Пятнистости
Бактериальная гниль листьев	<i>Lelliottia amnigena</i> ( <i>Enterobacter amnigenus</i> )	Гниль
Болезни корнеплодов		
Бактериальная гниль: слизистая или мокрая гниль; сухой бактериоз	Комплекс бактерий	Гниль
Хвостовая гниль (гоммоз)	Комплекс бактерий: <i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>aptata</i> , <i>P. marginalis</i> , <i>P. viridiflava</i> , <i>Pectobacterium carotovorum</i> , <i>P. betavasculorum</i> , <i>P. atrosepticum</i> , <i>Bacillus mesentericus</i> , <i>Xanthomonas arboricola</i> , <i>Pantoea agglomerans</i>	Гниль
Мягкая бактериальная гниль	<i>Pectobacterium</i> (=Erwinia) <i>carotovorum</i> subsp. <i>carotovorum</i>	Гниль
Бактериальный сосудистый некроз (трахеобактериоз) и гниль	<i>Erwinia carotovora</i> subsp. <i>betavasculorum</i>	Гниль
Серебряная болезнь (болезнь серебрения)	<i>Curtobacterium fl. accumfaciens</i> pv. <i>betae</i> (= <i>Corynebacterium betae</i> )	Гниль
Туберкулез свеклы	<i>Xanthomonas beticola</i> (Smith, Brown, Townsend) Savelescu	Наросты
Рак (зобоватость корней)	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	Наросты
Парша прыщеватая	<i>Bacterium scabiegenum</i> (Faber) Stapp.	Парша
Парша обыкновенная, поясковая	<i>Actinomyces scabies</i> (Krassil), <i>A. cretaceus</i> (Gussow), <i>A. albus</i> (Gasp.) Wr., <i>A. violacea</i> (Gasp.)	Парша
<b>Болезни хранения</b>		
Кагатная гниль сахарной свеклы	Комплекс грибов: <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Acremonium</i> sp., <i>A. alternata</i> , <i>Aspergillus flavus</i> , <i>C. herbarum</i> , <i>Fusarium affine</i> , <i>F. avenaceum</i> , <i>F. heterosporum</i> , <i>F. equiseti</i> , <i>F. acuminatum</i> , <i>F. oxysporum</i> , <i>F. sambucinum</i> var. <i>sambucinum</i> , <i>F. solani</i> , <i>Gabarnaudia betae</i> , <i>Penicillium</i> ssp., <i>P. solitum</i> , <i>T. viride</i> , <i>Mortierella</i> sp., <i>Mucor</i> sp., <i>Rhizopus stolonifer</i> и др.; бактерий	Гниль



Наиболее опасными считаются заболевания корнеплодов, представленные в виде гнилей, вызываемых бактериями: бактериальная гниль, хвостовая гниль, бактериальный сосудистый некроз и др. Связано это с тем, что заболевания корнеплодов, в отличие от заболеваний листового аппарата, весьма трудно своевременно диагностировать, поскольку корнеплод, находясь в почве, скрыт от визуальной оценки и требует извлечения его из почвы. Как правило, болезнь корнеплода диагностируется уже на поздней стадии в виде признаков угнетения листового аппарата.

Вредоносность гнилей зависит от сроков проявления инфекции: заболевание на ранних стадиях развития чаще всего вызывает гибель растения, на поздних – снижение урожая и технологических качеств. Распространенность гнилей корнеплодов в странах СНГ составляет 10...20 %, а в очагах достигает 50...70 %; при этом потери урожая во многих регионах мира составляют от 10 до 50 %. Поражение гнилями приводит к снижению сахаристости на 18,3...33,1 %, росту содержания редуцирующих веществ, калия, натрия и  $\alpha$ -аминного азота, приводящих к потерям сахара при переработке.

В период хранения сахарной свеклы на корнеплодах развивается кагатная гниль. Процесс гниения сахарной свеклы в кагатах протекает в результате деятельности целого комплекса микроорганизмов, которые заносятся в кагаты с больными корнеплодами и частицами почвы, и зависит от состояния корнеплодов и условий их хранения. Из микроорганизмов основную роль в возникновении кагатной гнили играют грибы (см. табл. 1), инфицирование которыми распространяется быстро и даже при кратковременном хранении может нанести значительный ущерб. Все грибы, поражая корнеплоды и внедряясь в ткани, растворяют клеточные оболочки и тем самым создают благоприятные условия для размножения бактерий, которые завершают процесс кагатного гниения и приводят сахарную свеклу в непригодное состояние как сырья. В процессе принимают участие многие виды грибов и бактерий, однако преобладание того или иного их вида зависит

от различных факторов, в том числе и от температурного режима хранения.

Возбудителями кагатной гнили свеклы могут быть также различные виды гетероферментативных молочнокислых бактерий. Палочковидные формы (*Lactobacillus brevis*, *L. bushnerii*) в процессе своей жизнедеятельности продуцируют из сахара свеклы молочную, уксусную, муравьиную кислоты, этиловый спирт и углекислый газ, а гетероферментативные кокки рода *Leuconostoc mesenteroides*, *L. dextranicum* – полисахарид декстран.

В кагатной гнили встречаются также гнилостные и маслянокислые бактерии. Бактерии из группы гнилостных разлагают белковые вещества свеклы с образованием аммиака, ацетона, уксусного альдегида,  $\beta$ -оксимасляной кислоты, органических кислот, углекислого газа, водорода. Чаще всего это спорообразующие аэробы – сенная палочка (*Bacillus Subtilis*), которая разлагает также сахарозу с образованием полисахарида левана. К гнилостным бактериям относятся и представители кишечной группы бактерий – кишечная палочка (*Escherichia coli*). Маслянокислые бактерии (*Clostridium maceras*) гидролизуют пектиновые вещества, сбраживают сахара с образованием масляной и уксусной кислот, ацетона, различных спиртов и газов.

Доминантами в патоконплексе гнилей корнеплодов выступают: во влажных условиях – *Fusarium solani*; в засушливых – *F. Oxysporum*; кагатной гнили – *Botrytis cinerea*, виды родов *Fusarium*, *Penicillium*.

Вместе с тем следует отметить разницу между грибной и бактериальной этиологиями: последняя опаснее – если произошло поражение ею корнеплода, как правило, он погибает весь, чего не бывает при грибной. Так, например, активная аэрофильная бактерия *Erwinia carotovora* на сахарном заводе Белгородской области за сутки уничтожила кагат хранившейся свеклы.

Вредоносность кагатной гнили не ограничивается только прямыми потерями сахарозы в сырье. Гнилая масса корнеплодов содержит в себе продукты разложения углеводов, белков, пектиновых веществ, которые, попадая в переработку вместе со здоровым сырьем, резко нарушают

технологический процесс, затрудняют его протекание, образуя и увеличивая технологические потери сахара. Загнившие корнеплоды содержат в 17 раз больше редуцирующих веществ; при их переработке на диффузии имеет место усиление активности ферментов. Каждый процент гнилой ткани корнеплодов приводит к снижению чистоты очищенного сока на 0,7 %, выхода сахарозы в среднем на 0,3 %; расход сырья на единицу готовой продукции увеличивается на 2...3 %. Для сахарной свеклы с содержанием гнилой массы 10 % скорость кристаллизации сахарозы снижается в 4 раза, получаемый белый сахар по цветности не удовлетворяет требованиям стандарта; при содержании гнилой массы 20 % скорость кристаллизации сахарозы снижается в 27 раз и извлечь сахарозу кристаллизацией не представляется возможным.

С точки зрения технологии сахара наиболее опасными бактериальными заболеваниями являются бактериальный сосудистый некроз (трахеобактериоз) и слизистый бактериоз.

Бактериальный сосудистый некроз (или сосудистый бактериоз) поражает сосудистую систему корнеплодов, что приводит к прогрессирующей потере тургора и в конечном итоге к их загниванию или мумификации. В растительных тканях бактерии-возбудители (*Pectobacterium*, *Pseudomonas*, *Bacillus mesentericus*, *Pantoea agglomerans*) перехватывают элементы питания растения, а своими продуктами метаболизма нарушают клеточный метаболизм корнеплода. Содержащиеся в бактериях гидролитические ферменты приводят к трансформации сложных соединений в простые, что ведет к снижению содержания сахарозы, накоплению редуцирующих веществ,  $\alpha$ -аминного азота, зольных элементов, разрушению белковых соединений клеточных структур и резкому возрастанию активности фермента пероксидазы. Эти изменения способствуют снижению чистоты клеточного сока, при переработке такой сахарной свеклы уменьшается выход сахара, увеличиваются потери в мелассе.

Слизистый бактериоз – обобщенное наименование бактериальной инфекции, обусловленной жизнедеятельностью слизиобразующих микроорганизмов: лейконостоками (*Leuconostoc mesenteroides*, *Leuconostoc agglutinans*), молочнокислыми и гнилостными бактериями.

Причиной лейконостоковой инфекции являются нарушения севооборота сахарной свеклы и неблагоприятные погодные условия с высокой температурой в период вегетации. При попадании в технологическую линию с сырьем, происходит молниеносная вспышка высокой степени инфицирования уже на 4-е...10-е сутки работы. Патологические изменения в составе полуфабрикатов вызываются продуцируемым лейконостоками декстраном – полисахаридом из остатков D-глюкозы с сильно разветвленной структурой и образованием последним декстрановой слизи. Это приводит к повышению вязкости диффузионного сока, невозможности осаждения осадка на преддефекации, нефильтруемости суспензий соков первой и второй ступени сатурации, препятствует механическому обезвоживанию жома и дальнейшему тепловому удалению влаги; резко снижается выход сахара и его качество.

Левановые слизи преобладают в том случае, если возбудителем инфекции являлись молочнокислые бактерии рода *Bacillus* и частично маслянокислые бактерии рода *Clostridium*. Их образует полисахарид леван, состоящий из остатков D-фруктозы. Инфекция развивается на замороженной и оттаявшей сахарной свекле, а также при плохой отмывке корнеплодов при сильном их загрязнении. Последствия для технологического потока аналогичны, как и для декстрановой слизи.

Несмотря на различия в химической структуре, указанные слизевые субстанции оказывают однотипное негативное влияние на технологические процессы производства сахара. В условиях протекания процесса экстрагирования сахарозы они способствуют интенсивному пенению сокостружечной смеси; увеличивая вязкость диффузионного сока, затрудняют процесс извлечения сахарозы; переходя в диффузионный сок,

увеличивая концентрацию несхаров, приводят к потерям сахарозы и ухудшают качество сока. Эти вещества практически не удаляются в процессах дефекосации, поэтому они, препятствуя образованию осадка с высокими фильтрационно-седиментационными свойствами, затрудняют процесс фильтрования соков и сиропа. В дальнейшем их присутствие в полуфабрикатах технологического потока замедляет процессы кристаллизации сахарозы и центрифугирования утфелей, и в итоге ухудшается качество белого сахара, снижается его выход.

При высоких температурах окружающего воздуха в период переработки сахарной свеклы, чаще всего на предприятиях ЮФО, возникает проблема инфицирования оборотной воды гнилостными бактериями, среди которых особую опасность представляют сульфатредуцирующие микроорганизмы *Desulfovibrio desulfuricans*. Очагом инфекции выступает барометрический конденсатор, где создаются идеальные условия развития данных микроорганизмов: наличие сахара, молочной кислоты, вакуум. Данные бактерии несут потенциальную опасность попадания в диффузионный сок и далее в полуфабрикаты вплоть до белого сахара. Кроме того, экологическая обстановка в зоне сахарного завода значительно ухудшается из-за гнилостных запахов, а выделяющийся сероводород представляет опасность для здоровья человека и животных.

В целом факторами увеличения численности фитопатогенных видов микроорганизмов и фитотоксичности почвы, которые способствуют развитию гнилей корнеплодов сахарной свеклы, являются короткоротационные севообороты, повышение кислотности почвы и отсутствие органических удобрений, выращивание гибридов, неустойчивых к заболеваниям. Поэтому в защите от гнилей корнеплода эффективными являются агротехнические мероприятия и селекция на устойчивость к болезням, поскольку влияние устойчивости гибрида к болезням показывает существенный вклад в 20 % в поражение корней гнилями. Пока поиск генотипов сахарной свеклы, устойчивых к бактериальным патогенам, осложнен отсутствием типовых

штаммов патогенов и недостатком информации о сортах сахарной свеклы в отношении к устойчивости к бактериозам. Данные некоторых исследований показывают, что новые линии сахарной свеклы, устойчивые к грибным заболеваниям, более восприимчивы к бактериозам. Следовательно, внедрение таких гибридов в промышленное производство приводит к усилению развития бактериозов.

В этой связи в США были получены линии сахарной свеклы, совмещающие устойчивость к фузариозному увяданию и бактериозу корнеплодов. Во ВНИИСС выделены гибридные комбинации, обладающие высокой устойчивостью к корневой и кагатной гнили; Центр «Биоинженерия» РАН совместно с ВНИИСС создали гибрид, устойчивый к проявлению цветущности, при этом он слабо поражается корнеедом и корневыми гнилями. За последние годы селекционерами России и Беларуси созданы гибриды, устойчивые к корневым гнилям – Рамнес, Руслан, РМС-90, Суперагро.

В Республике Беларусь проведена оценка 66 возделываемых современных высокопродуктивных гибридов к возбудителям гнили корнеплодов при вегетации, кагатной гнили и слизистого бактериоза при хранении. Выявлено, что 13 гибридов (Концепта КВС, Тайфун, Несвижски 2, Флората и др.) обладали высокой толерантностью к гнилям корнеплодов в период вегетации. Высокой устойчивостью к возбудителям слизистого бактериоза в период хранения характеризовались 17 гибридов (Галдони, Мичиган, Скаут, Верди и др.); из них гибриды Каньон и Тайфун (производитель Марибо) вообще не поражались этим заболеванием.

Вместе с тем, современные гибриды могут реализовать свой генетический потенциал только при оптимальных агротехнических и климатических условиях, в связи с чем даже адаптированные, устойчивые к заболеваниям гибриды при неблагоприятных внешних условиях могут сильно подвергаться заболеваниям. При этом отмечается, что гибриды зарубежной селекции в сравнении с отечественными гибридами в большей степени

подвержены инфицированию. Об этом свидетельствуют данные, когда эпифитотия гнилей поражала посевы сахарной свеклы отечественной селекции на 8...10 %, в то время как зарубежной – до 90 %.

В последнее десятилетие во многих отечественных свеклосеющих хозяйствах имеет место несоблюдение технологии возделывания сахарной свеклы: отмечаются нарушение севооборота, короткий период ротации, недостаток и несбалансированность элементов питания, излишек и позднее внесение азотсодержащих удобрений и др. Указанное, а также интенсивность применения и видовой состав пестицидов, доступность углеродного субстрата привели к нарушению гомеостаза почвенного агробиоценоза, что способствовало более интенсивному росту и размножению бактериальной микрофлоры.

Значительно увеличенные объемы переработки сахарной свеклы в России привели к повышению объемов ее хранения, длительности производственного сезона получения сахара. При этом высокосахаристые и урожайные зарубежные гибриды, не обладающие хранимостью, при длительном хранении более подвержены заболеваемости. Благоприятному развитию различных групп микроорганизмов способствуют не только несоблюдение агротехнических факторов, но также увядание и подмораживание корнеплодов. Это повлияло на интенсивность протекания физиологических и биохимических процессов в корнеплодах, на их микробиологическое состояние – проявились ранее нехарактерные заболевания. В результате инфицирования корнеплодов в составе растворимых несугаров проявились трудноудаляемые высокомолекулярные соединения (ВМС) с гликозидными и пептидными связями (слизевые вещества) – полисахариды декстран и леван, белковые вещества, которые невозможно удалить существующими способами и которые оказывают негативное влияние на выход и качество белого сахара.

Таким образом, на современном этапе отечественное сырье для производства сахара – сахарная свекла современных гибридов в процессе

выращивания и хранения подвержена заболеваниям бактериальной этиологии. Эти заболевания считаются наиболее опасными и доминирующими, приводящими к ряду изменений в химическом составе корнеплодов, которое обуславливает понижение их технологических качеств. Переработка бактериально инфицированной сахарной свеклы приводит к проблемной работе технологической линии, изменению состава и свойств локальных пищевых систем, ухудшению качества полуфабрикатов, снижению выхода и потребительских свойств белого кристаллического сахара.



---

## **Глава 2. СИСТЕМА ДИФфуЗИОННОГО СОКА КАК ОСНОВНАЯ ЛОКАЦИЯ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ СЛИЗЕОБРАЗУЮЩИХ БАКТЕРИЙ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ**

Технология производства белого сахара базируется на следующих основных операциях: подача сахарной свеклы в переработку с отделением примесей, отмывание корнеплодов; изрезывание их в стружку, подготовка экстрагента, извлечение сахарозы из свекловичной стружки методом экстрагирования с получением диффузионного сока и жома; известково-углекислотная очистка диффузионного сока, основанная на многократной последовательной обработке известью и диоксидом углерода с выводом образующегося осадка; сгущение очищенного сока в многоступенчатой выпарной установке; кристаллизация сахарозы в несколько ступеней с получением уфельной массы, разделяемой на центрифугах с выделением кристаллов сахара и оттеков; сушка и упаковка сахара. Локальные операции основаны на тепломассообменных и различных физико-химических процессах, связанных с потреблением значительных объемов водных, энергоресурсов, природных ископаемых, технологических вспомогательных средств; они отличаются многообразием технологических схем, технических решений, конструкций технологического оборудования, способов достижения технологической цели, а также различной энерго- и материалоемкостью и воздействием на окружающую среду.

Технологическая пищевая система производства белого сахара, в которой происходит трансформация растительного сырья в целевой продукт с помощью вышеуказанных операций, имеет входной поток в виде сахарной свеклы, выходной поток – в виде белого сахара. Она включает ряд взаимосвязанных локальных систем, скомпонованных последовательно по ходу движения технологического потока. Наиболее потенциально склонной к

развитию микробиологических процессов является локальная система диффузионного сока, где создаются благоприятные условия для выживания и развития микроорганизмов: соответствующая температура, легкая доступность питательных веществ и воздуха.

Получение диффузионного сока основано на массообменном процессе извлечения сахарозы из клеточного сока ткани измельченной сахарной свеклы в экстрагирующую жидкость. Процесс получения диффузионного сока включает следующие технологические подпроцессы: изрезывание свеклы в стружку, подготовку экстрагента, экстрагирование сахарозы, отжатие жома (рис. 1).

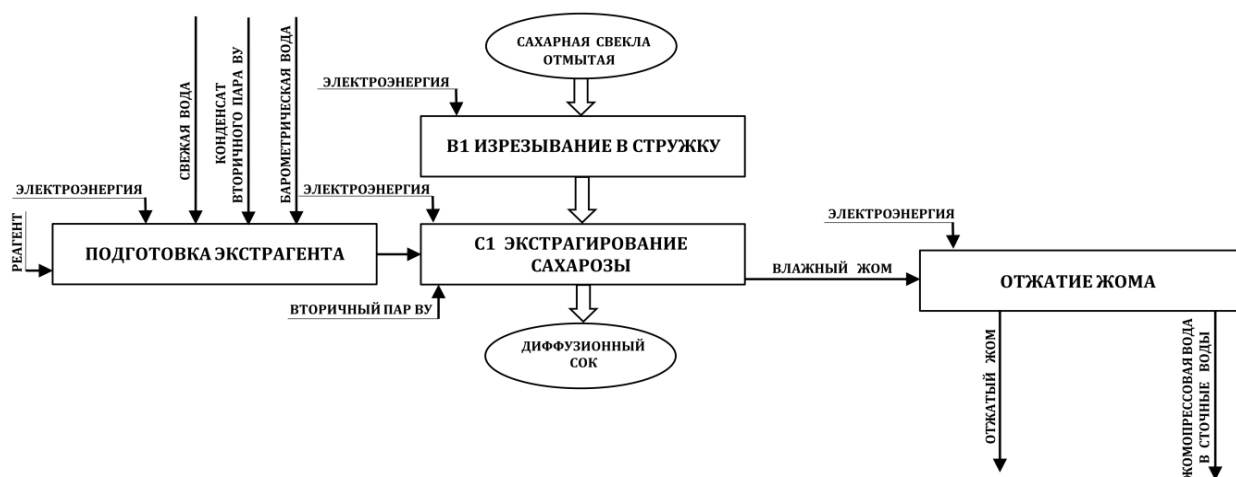


Рисунок 1 – Структурная блок-схема процесса получения диффузионного сока

Отмытая сахарная свекла изрезывается режущими устройствами со специальными ножами в стружку желобчатой или пластинчатой формы толщиной 0,7...1,0 мм, длиной 9...12 м 100 г ее массы. Для изрезывания свеклы в стружку используются свеклорезки с неподвижными или подвижными режущими устройствами: центробежные или дисковые и барабанные.

Экстрагирование сахарозы осуществляется при температуре 65...75 °С в противотоке движущихся свекловичной стружки и экстрагента при соотношении стружка:вода – 1:1. В результате образуются обессахаренная свекловичная стружка, содержащая около 8 % сухих веществ – жом,

количество которого составляет 80...85 % к массе свеклы, и диффузионный сок – многокомпонентный раствор сахарозы с содержанием сухих веществ 12...14 % и чистотой 88...90 %, количество которого составляет 105...120 % к массе свеклы, температура 40...50 °С. Для экстрагирования сахарозы используются колонные, ротационные и наклонные диффузионные аппараты.

В качестве экстрагента используется специально подготовленная подогретая до температуры 65...75 °С вода, которая может включать в своем составе как свежую природную воду, так и воду, отработавшую на других участках технологического потока: жомопрессовую воду, конденсаты вторичных паров выпарной установки, барометрическую воду. Подготовка воды к экстрагированию заключается в ее обработке реагентами для доведения до рН<sub>20</sub> 5,5...6,0: диоксидом серы, сульфатом алюминия, ортофосфорной кислотой или фосфатом кальция.

Выходящий из диффузионного аппарата жом механически обезвоживается на прессах до содержания сухих веществ 25...30 %. Для отжатия жома используются вертикальные и горизонтальные одно- или двухшнековые прессы. Образующаяся жомопрессовая вода в количестве до 40 % к массе свеклы, содержащая до 0,4 % сахарозы к массе свеклы, используется в составе экстрагента. Обезвоженный жом направляется на хранение в жомохранилища или подается на сушку и гранулирование.

Локальная пищевая система диффузионного сока формируется из свекловичной стружки – капиллярно-пористого тела и подготовленной воды в качестве экстрагента в противоточном движении при рН 5,5...6,0 и температуре 70...72 °С. В качестве технологических вспомогательных средств (ТВС) используются антимикробные средства и пеногасители; при подготовке экстрагента – химические реагенты. Задачей формируемой системы является максимальное извлечение из свекловичной ткани целевого компонента сахарозы при минимальном переходе нес сахаров. На выходе она представляет собой жидкость с содержанием сухих веществ 13...15 %; это сложная поликомпонентная дисперсная система, где дисперсионной средой

являются истинные и коллоидные водные растворы сахарозы и несхаров; дисперсной фазой – твердые частицы сырья и коллоидные частицы несхаров с размером частиц  $10^{-9} \dots 10^{-3}$  м. Поскольку интенсивность жизнедеятельности микроорганизмов зависит от температуры и обеспеченности питательными веществами (сахарозой), то исходя из характеристик процесса, диффузионный сок на стадии его получения является хорошей питательной средой для различных видов микроорганизмов, которые поступают в локальную систему.

Микроорганизмы в зависимости от температуры жизнедеятельности подразделяют на мезофильные и термофильные: мезофильные имеют оптимум развития при  $30 \dots 40$  °С, термофильные –  $55 \dots 60$  °С. Мезофильные микроорганизмы образуют самую большую группу, в которую входят различные дрожжи и микроскопические грибы, патогенные и сапрофильные бактерии; к термофильным бактериям относятся бактерии рода *Bacillus* *Clostridium*. В локальной пищевой системе диффузионного сока постоянной сопутствующей микрофлорой являются бактерии *Bacillus subtilis*, *Bacillus mycoides*, *Pseudomonas fluorescens*, *Leuconostoc dextranicum*, *Leuconostoc mesenteroides*, грибы *Botrytis*, *Penicillium* и др. Причем в головной части диффузионного аппарата имеет место развитие мезофильных организмов, а в хвостовой части и жомопрессовой воде – термофильных.

Жизнедеятельность микроорганизмов в диффузионном аппарате проявляется в разложении сахарозы с последующим образованием кислот и газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ). Основными метаболитами микроорганизмов гетероферментативного молочнокислого брожения при усвоении сахарозы являются органические кислоты, в первую очередь, молочная и уксусная кислоты; масляная кислота – для маслянокислых бактерий *Bacillus pasteurianus*; слизи за счет превращения сахарозы в полисахариды декстран, леван и другие слизистые и коллоидные вещества – для бактерий *Leuconostoc mesenteroides*, *Leuconostoc dextranicum*, *Leuconostoc mesenteroides*, *Pseudomonas fluorescens*, *Bacterium viscosum*. Кроме прямых потерь сахарозы продукты

жизнедеятельности бактерий (редуцирующие вещества, органические кислоты, декстран и леван) вызывают трудности в протекании дальнейших процессов очистки, фильтрования и кристаллизации сахарозы, приводят к повышенному содержанию сахарозы в мелассе.

Рассмотрим основные возможные источники инфицирования диффузионного сока.

Свекловичная стружка. Обсемененность свекловичной стружки определяется состоянием корнеплода (здоровый или подверженный болезням), степенью отмывки почвы от корнеплода, качеством моющей и ополаскивающей воды, применением антисептиков. Для свекловичной стружки из здоровых корнеплодов степень инфицирования составляет  $8 \cdot 10^5 \dots 1 \cdot 10^7$  шт. микроорганизмов в 1 г; для подмороженной и оттаявшей –  $1,5 \cdot 10^7 \dots 9 \cdot 10^8$  шт./г.

Питательная вода. В качестве питательной воды для диффузионных установок большинство свеклосахарных заводов использует подготовленную барометрическую воду. Качественный бактериологический состав барометрической воды идентичен качественному составу прудовой воды. Если барометрическую воду не обрабатывать, то при температуре  $30 \dots 40$  °С в ней создаются благоприятные условия для размножения многих видов микроорганизмов, их количество может возрасти до  $8 \cdot 10^3 \dots 1,8 \cdot 10^5$  шт./см<sup>3</sup>. В горячей сульфитированной барометрической воде содержание микроорганизмов составляет всего 75 шт./см<sup>3</sup>.

Жомопрессовая вода. В жомопрессовой воде находятся преимущественно термофильные микроорганизмы, свежеполученная вода содержит их  $2,2 \cdot 10^4 \dots 1,4 \cdot 10^6$  шт./см<sup>3</sup>; вода после подогревателя (температура  $70 \dots 80$  °С) –  $1 \cdot 10^3 \dots 8 \cdot 10^5$  шт./см<sup>3</sup>; после отстаивания и подогрева ( $74 \dots 78$  °С) –  $1 \cdot 10^3 \dots 7,2 \cdot 10^3$  шт./см<sup>3</sup>.

Примерный состав микрофлоры локальной пищевой системы диффузионного сока и ряда последующих систем производства сахара представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Примерный состав микрофлоры пищевых систем производства сахара [20]

Локальная пищевая система	Продукт	Мезофильные, КОЕ в 1 г	Термофильные, КОЕ в 1 г	Слизеобразующие, КОЕ в 1 г	Плесени, КОЕ в 1 г
Диффузионного сока	Свекловичная стружка	$5,52 \cdot 10^6$	$1,28 \cdot 10^6$	$2,7 \cdot 10^4$	$7 \cdot 10^3$
	Диффузионный сок	$3,76 \cdot 10^5$	$2,6 \cdot 10^6$	$1,4 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^3$
Очищенного сока	Очищенный сок	$6 \cdot 10^2$	$2,04 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^2$
Сиропа	Сироп	$5,1 \cdot 10^3$	$2,88 \cdot 10^4$	$3,3 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10$
Белого сахара	Белый сахар	$1,44 \cdot 10^3$	$1,25 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10$	$1 \cdot 10$
Утфеля III ступени кристаллизации	Меласса	$9 \cdot 10^4$	$9,6 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10$	$1 \cdot 10^2$

Приведенные данные подтверждают, что основным источником мезофильных, термофильных и слизеобразующих микроорганизмов в пищевой системе производства сахара является свекловичная стружка, а из локальных систем именно система диффузионного сока имеет самую высокую степень зараженности.

Химический состав формируемой пищевой системы диффузионного сока представлен целевым компонентом – сахарозой и несахарами: низкомолекулярными соединениями (редуцирующие вещества, аминокислоты, соли органических и неорганических кислот и др.); веществами коллоидной дисперсности, которые находятся в основном в форме высокомолекулярных соединений (ВМС) – белковые, пектиновые вещества, продукты их распада, красящие вещества, полисахариды. Некоторые из них относятся к слабо- или трудноудаляемым, обуславливающим проблемную работу технологической линии и ухудшающим качество белого сахара. Данная пищевая система характеризуется разными физическими, химическими, микробиологическими свойствами, которые совокупно соответствуют ее устойчивому или неустойчивому состоянию.

При нахождении системы в устойчивом состоянии процессы протекают в оптимальных режимах, отсутствуют нежелательные явления и микробиологические процессы, что обеспечивает выполнение технологической задачи; в неустойчивом состоянии системы течение процессов отклоняется от оптимальных режимов, появляются нежелательные явления (пенение, газообразование), развиваются микробиологические процессы. Микробиологические процессы отрицательно влияют на состояние пищевой системы диффузионного сока, вызывают накопление в ней нес сахаров, повышающих вязкость сока, ухудшают технологические показатели, приводят к дополнительным потерям сахара. Пенообразование и газовыделение в пищевой системе диффузионного сока приводит к ухудшению механических свойств стружки, ее интенсивному слипанию, изменению гидродинамики процесса, образованию газовых подушек, замедляющих движение потока сокостружечной смеси, «пробкообразованию». Все это в результате приводит к нерешенной технологической задаче, повышению потерь сахарозы, увеличению ресурсозатрат.

По данным К. Вукова, пищевая система в разных состояниях имеет разный химический состав (табл. 3).

Таблица 3 – Показатели химического состава пищевой системы диффузионного сока разных состояний

Наименование показателя	Состояние пищевой системы	
	устойчивое	неустойчивое
Чистота, %	более 88,0	менее 85,0
Содержание, %:		
несахаров	менее 2,0	более 2,6
зола	менее 0,5	более 0,7
редуцирующих веществ	менее 0,15	более 0,25
$\alpha$ -аминного азота	менее 0,025	более 0,04
коллоидов	менее 0,4	более 0,8
пектиновых веществ	менее 0,1	более 0,2

По данным наших исследований обоснована группа репрезентативных показателей (рис. 2) и их пороговых значений (табл. 4) для оценки состояния пищевой системы диффузионного сока.

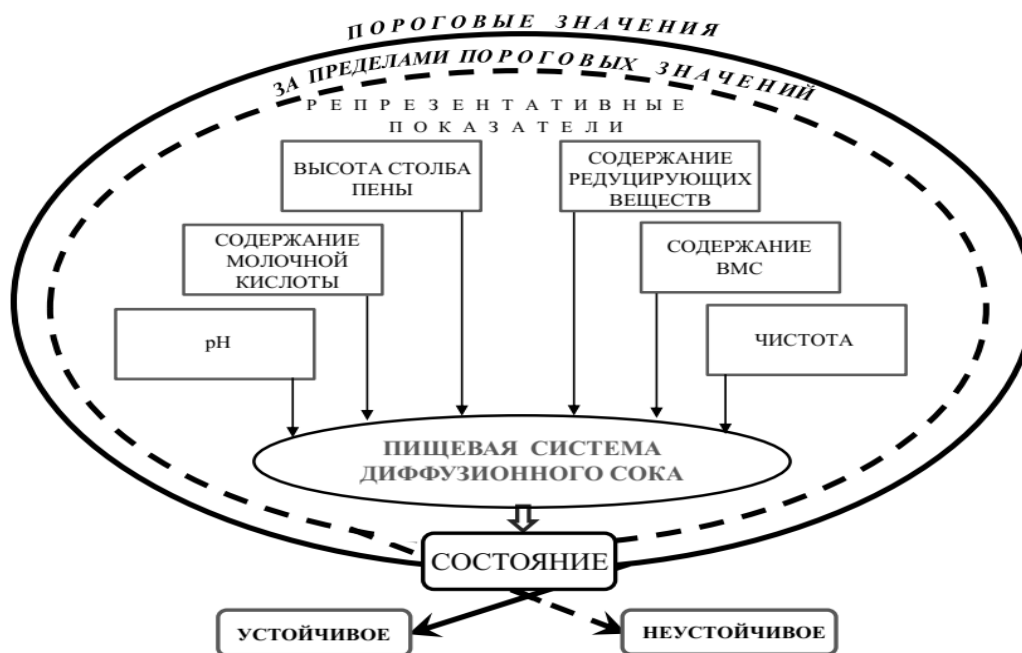


Рисунок 2 – Репрезентативные показатели состояния пищевой системы диффузионного сока свеклосахарного производства

Таблица 4 – Пороговые значения репрезентативных показателей стабильного состояния пищевой системы диффузионного сока

Наименование показателя	Единица измерения	Значение
Чистота	%	более 90,0
рН	ед.	6,2...6,4
Содержание молочной кислоты	мг/см <sup>3</sup>	менее 250
Высота столба пены	см	менее 15
Содержание коллоидов	% к массе СВ	менее 2,1

Достижение значений репрезентативных показателей свидетельствует о нахождении пищевой системы диффузионного сока в устойчивом состоянии; при отклонении от них формируемая пищевая система приобретает неустойчивый характер. Соответственно, пищевые системы диффузионного сока, формируемые из здоровых и инфицированных корнеплодов, характеризуются различными возможными состояниями.



При поступлении в технологический поток здоровой сахарной свеклы, не инфицированной микроорганизмами, экстрагента, содержащего стерилизованную жомпрессовую воду, соблюдении оптимального технологического режима экстрагирования и применяемых технологических вспомогательных средств (температура, длительность процесса, рН, загрузка аппарата, надлежащее санитарное состояние технологического потока, ритмичность работы оборудования, дезинфекция потока) формируемая локальная пищевая система проявляет склонность к стабильности. Отсутствие в ней развитой микрофлоры, сильного пенения и газообразования способствуют нахождению ее в устойчивом состоянии, что позволяет минимизировать разложение сахарозы и накопление в диффузионном соке трудноудаляемых несахаров. В итоге имеет место полное выполнение технологической задачи процесса экстрагирования – максимальная степень извлечения сахарозы при минимальном переходе несахаров и минимальных неучтенных потерях сахарозы, не превышающих 0,15 % к массе свеклы; чистота формируемого диффузионного сока находится на уровне 90...92 %, остальные репрезентативные показатели не превышают пороговых, что предполагает формирование последующих локальных пищевых систем как стабильных.

Если в технологический поток поступает сахарная свекла низкого качества, инфицированная бактериями и грибами, жомпрессовая вода недостаточно стерилизована, технологический режим не соблюдается, состояние пищевой системы диффузионного сока отличается от вышеобозначенного. Изначальная контаминация корнеплодов микроорганизмами негативно влияет на состав клеточного сока, увеличивая в нем содержание нехарактерных для здоровой свеклы трудноудаляемых ВМС и продуктов гидролиза сахарозы. Инфицирование продолжает активно развиваться в благоприятных условиях процессов транспортирования, мойки корнеплодов, получения из них свекловичной стружки. Формируемая пищевая система из такой сахарной свеклы проявляет склонность к

дальнейшему увеличению микробальной зараженности, активному пенению и газовыделению, накоплению трудноудаляемых несхаров, повышающих вязкость, что ведет к отклонениям технологического режима от оптимального. Для ее состояния характерна неустойчивость, приводящая к возрастанию неучтенных потерь сахарозы, величина которых может достигать 0,3...0,5 %. В итоге имеет место неполное выполнение технологической задачи процесса экстрагирования, репрезентативные показатели диффузионного сока выходят за пределы пороговых, что потенциально создает риски формирования последующих локальных пищевых систем как нестабильных.

При переработке сахарной свеклы, инфицированной слизиобразующими бактериями рода *Leuconostoc* применяют ферментные препараты с гликозидазной активностью – декстраназу и леваназу. Российские сахарные заводы используют зарубежные ферментные препараты класса декстраназ под торговыми марками Sugazym DX L, Defonase и отечественный комплексный препарат Декстрасепт 2, содержащий зарубежные энзимы декстраназу и леваназу.

В диффузионном соке обнаружены спороносные бактерии: *Bac. subtilis*, *Bac. Mesentericum*, *Bac. Megatherium*, *Bac. Padiculatum*, *Bac. mycoides*, *Bac. circulans* и др.; слизиобразующие бактерии *Leuconostoc Lactobacterium plantarum*, *Leuconostoc dextransicum*, *Leuconostoc mesenteroides*. Последние относятся к проблемным в технологии сахара, поскольку приводят к образованию слизей. Появление слизей в диффузионном соке может иметь три источника поражения: лейконостоковое, слизистый бактериоз и гниlostное.

Лейконостоковое поражение встречается в особых климатических условиях копки сахарной свеклы (высокая температура воздуха в сочетании с дождевыми осадками), а также в регионах сильной зараженности почв лейконостоками. Возбудителем поражения являются бактерии из рода *Leuconostoc* (*Leuc.mesenteroides* и *Leuc. dextransicum*), активно превращающие

сахарозу в декстран. Декстран – полисахарид с сильно разветвлённой структурой, построенной из остатков D-глюкозы с преобладанием  $\alpha(1\rightarrow6)$ - и  $\alpha(1\rightarrow3)$ -гликозидных связей с боковыми ответвлениями общим количеством около 5 % длиной от 1 до 2 единиц по месту  $\alpha$ -1,2,  $\alpha$ -1,3 или  $\alpha$ -1,4; молекулярная масса превышает 1 млн. Низкомолекулярный декстран обладает хорошей растворимостью в воде, поэтому, находясь в диффузионном соке, сильно повышает его вязкость. Высокомолекулярный декстран формирует микробиально-коллоидный комплекс (капсулу), в котором бактерии инкрустированы коллоидными веществами, что придает им особую устойчивость ко всем обеспложивающим факторам. В результате формируется клёк (гигантские разросшиеся колонии микробиально-коллоидного комплекса консорциума слизиобразующих микроорганизмов рода *Bacillus* и *Leuconostoc*) разнообразных форм: в виде рисовых зёрен, вермишели, плотных плёнок молочно-белого цвета, лент, откладывающийся на поверхностях оборудования и в коммуникациях завода.

Возбудителями слизистого бактериоза сахарной свеклы являются молочнокислые (рода *Lactobacillus*) и гнилостные (родов *Serratia*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Aerobacter* и др.) бактерии, продуцирующие леван и леваноподобные слизи. Леван – полисахарид состоящий из D-фруктофуранозных остатков, соединённых  $\beta(2\rightarrow6)$ - и  $\alpha(2\rightarrow6)$ -гликозидными связями. Его молекулярная масса приближается к молекулярной массе декстрана. Леваноподобные слизи по химической структуре очень схожи с леваном, но в отличие от последнего полисахаридные цепочки связаны между собой фосфорными связями.

Гнилостное поражение сахарной свеклы возникает при длительном хранении или замораживании и последующем оттаивании. В этом случае на первом этапе происходит микологическое инфицирование разными видами плесневых грибов (*Botrytis*, *Alternaria*, *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor* и т.п.), далее идет присоединение бактериальной микрофлоры, продуцирующей различные виды слизей (леван и леваноподобные слизи).

Несмотря на то, что вышеуказанные слизистые субстанции по химической структуре различны, они наносят однотипный вред пищевой системе производства сахара. Развитие и перемещение слизеобразующей микрофлоры в пищевых системах производства сахара приводит к накоплению в полуфабрикатах нежелательных веществ: высокомолекулярных соединений декстрана и левана, органических кислот, газов. Эти вещества тормозят протекание технологических процессов, снижают качество получаемых полуфабрикатов и потребительские свойства вырабатываемого белого сахара, увеличивая цветность и мутность растворов сахара, ухудшая его кристаллоструктуру, снижая микробиологическую чистоту.

При поступлении в технологический поток зараженной сахарной свеклы, особенно содержащей загнившие корнеплоды, уже на стадии получения свекловичной стружки затрудняется их изрезывание, на стадии экстрагирования наблюдается усиление активности ферментов в 9...14 раз, разрушающих структуру ткани и гидролизующих сахарозу. Каждый процент гнилой ткани вызывает снижение чистоты очищенного сока на 0,7 %, выхода сахарозы на 0,3 %, увеличение расхода сырья на получение одной тонны сахара на 0,35 %. Из свеклы, содержащей гнилой массы 10 %, невозможно получить сахар с цветностью по ГОСТ 33222 «Сахар белый. Технические условия», а из содержащей 20 % – извлечь сахарозу.

К негативным последствиям распространения слизей на свеклосахарном заводе относятся:

- резкое снижение выхода сахара;
- усиление пенообразующих свойств растворов технологического потока;
- снижение чистоты диффузионного и очищенных соков за счёт повышения содержания в них белковых соединений и солей кальция;
- повышение цветности очищенных соков;

- возрастание вязкости сахарных растворов по технологическому потоку, приводящее к заклеиванию пор фильтровальных тканей;

- снижение скорости образования зародышей карбоната кальция при сатурировании растворов, приводящее к формированию его мелкозернистой структуры, затрудняющей фильтрацию суспензий;

- снижение скорости кристаллизации сахарозы при уваривании утфелей, что приводит к неоднородности размеров и искажению формы кристаллов (удлиненные, мелкие кристаллы, образование друз);

- снижение потребительских свойств белого сахара как сырья для производства напитков, ликероводочной продукции, кондитерских изделий (повышается цветность, мутность раствора, приобретает флокулообразующая способность);

- повышение общего микробного числа белого сахара (на кристаллах обнаруживаются молочнокислые микроорганизмы, в том числе лейконостоки, термостойкие и ацидофильные бактерии, плесени и т.п.);

- затруднение центрифугирования утфеля последней ступени кристаллизации;

- возрастание расхода технологических вспомогательных средств, снижение производительности линии, уменьшение периода активной работы фильтровального оборудования с увеличением циклов промывки и замены фильтровальных тканей, возрастание трудозатрат на очистку технологического оборудования.

В целях поддержания стабильного состояния пищевой системы используют разнообразный арсенал антимикробных средств, которые применяют для обработки корнеплодов, свекловичной стружки, диффузионного сока. Антимикробные средства различны по активному действующему веществу – дикарбаматы, тиокарбаматы, четвертичные аммонийные соединения, надуксусная кислота, перекись водорода, хлор, формальдегид и др. Они обладают высоким технологическим эффектом и обширным спектром дезинфицирующего действия. Также на рынке

присутствуют высокоэффективные узкоспецифические препараты в зависимости от микробного профиля обрабатываемых сред – для диффузионного сока из здоровой сахарной свеклы или пораженной слизистым бактериозом; жомопрессовой воды.

Микробиологические процессы способствуют образованию газов, что ведет к усилению процесса пенообразования при формировании пищевой системе диффузионного сока. Поэтому при получении диффузионного сока применяют пеногасители. В качестве пеногасителей раньше использовали природные средства – животные и растительные масла; в настоящее время применяют синтетические препараты на основе силикона (кремнийорганических соединений), оксиэтилированных жирных спиртов, различных полигликолей (полимер пропиленоксида и сополимер этиленоксида и пропиленоксида) и других химических соединений, обладающие высоким пролонгированным действием. Также используют специальные пеногасители для диффузионного сока, получаемого из диффузионных аппаратов разного типа: колонного, наклонного или ротационного.

Таким образом, среди локальных пищевых систем производства сахара наиболее потенциально склонной к развитию микробиологических процессов является локальная система диффузионного сока, где основным источником инфицирования является свекловичная стружка с потенциалом зараженности мезофильными, термофильными и слизиобразующими микроорганизмами.

---

## **ГЛАВА 3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИНГИБИРОВАНИЯ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ИНФИЦИРОВАННОСТИ В ЛОКАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ДИФФУЗИОННОГО СОКА**

### **3.1 Формы существования бактерий в пищевых системах**

Бактерии в окружающей среде существуют в двух формах: планктонной, в которой одиночные клетки свободно двигаются в жидкой среде; биопленочной, когда они находятся в виде конгломерата, структурированы и прикреплены к поверхности. Бактериальные пленки формируются в результате протекания биологических процессов и образуются как в природных, так и в производственных условиях. Явление биопленкообразования было открыто в середине 1980-х гг. Изначально микробные пленки позиционировали как способ выживания бактерий в сложных условиях окружающей среды. Однако, последние исследования свидетельствуют о том, что биопленки являются предпочтительной формой существования микробов, в то время как планктонные формы представляют собой промежуточную стадию формирования биопленки. По сути бактериальная биопленка представляет собой микробное сообщество, заключенное в матрикс синтезированных бактериями внеклеточных полимерных веществ. Более 99 % бактериальных популяций существует не в форме одиночных планктонных (свободноживущих) клеток, а в виде специфически организованных консорциумов.

Основу биопленки составляет экзополимерный матрикс, занимающий 85 % от общей массы бактериальной биопленки, а микробы – 15 %. Матрикс выполняет защитную и каркасную функции; служит средой для межклеточного взаимодействия; обладает биологической и химической инертностью; состоит на 95 % из экзополимеров (полисахаридов),

продуцируемых бактериальными клетками; остальное – белки, жиры и др. Для разных видов бактерий экзополимеры различны по физическим свойствам и химическому составу, ими могут быть гомо- и гетерополисахариды глюконовой кислоты, аминсахаров, целлюлозы, декстранов и др. Именно матрикс защищает бактерии в пленке от воздействий неблагоприятных факторов внешней среды – высокой температуры, кислой и щелочной pH, УФ-облучения, высыхания и антимикробных средств; сорбирует металлы и растворенные минеральные и органические вещества. Сами микроорганизмы внутри матрикса способны постоянно мутировать и приспосабливаться к условиям внешней среды, приобретая свойства резистентности (способность размножаться в присутствии токсичных соединений) и толерантности (отсутствие роста, но сохранение выживаемости). Так, устойчивость микроорганизмов биопленки к антимикробным средствам в 100...1000 раз выше, чем в планктонной форме.

Жизненный цикл бактериальной биопленки состоит из 5 фаз (рисунок 3): адгезия, адсорбция – прикрепление свободных бактерий друг к другу и поверхности; колонизация – формирование микроколоний, бактерии начинают выделять полимеры для обеспечения прочной адгезии; созревание – клетки вырабатывают внеклеточный экзополимерный матрикс, который удерживает вместе всю колонию; рост – сливание микроколоний, образование зрелой биопленки, которая изменяет свой размер и форму; дисперсия – выброс бактерий, способных прикрепиться к поверхности и образовать новую колонию. В дальнейшем этот цикл повторяется.

Как правило, бактериальные биопленки образуются микробным сообществом на поверхностях раздела фаз: жидкой (водная среда) и твердой; жидкой и газовой; две несмешивающиеся жидкости; твердой и газовой.

Биопленки могут быть сформированы не только бактериями одного вида, но и включать в себя микроорганизмы других видов, при достижении определенной плотности они начинают обмениваться между собой информацией



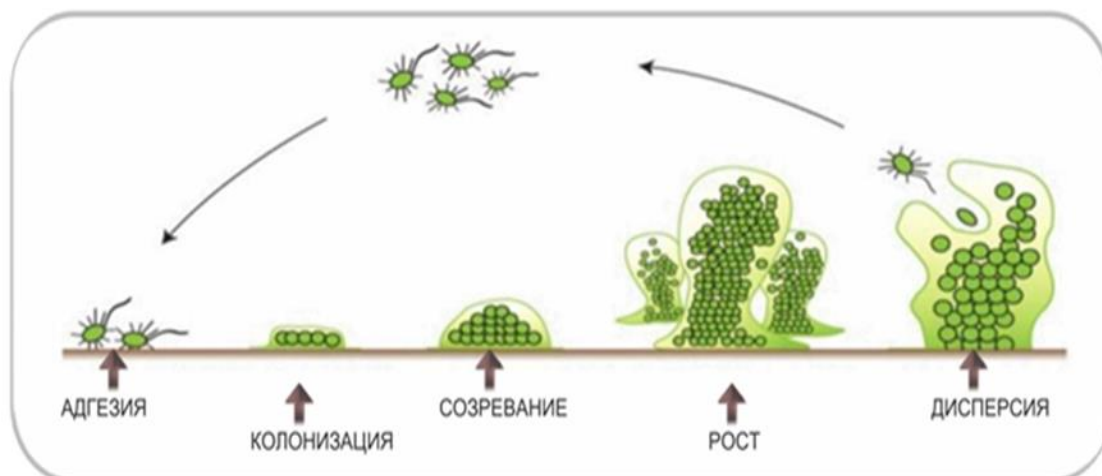


Рисунок 3 – Фазы жизненного цикла бактериальной биологической пленки

с помощью специализированных химических сигнальных молекул. Это свойство, получившее название «чувство кворума», позволяет одноклеточным микроорганизмам проявлять свойства многоклеточных организмов и создавать сообщества внутри одного каркаса биопленки. Биопленка, образованная одним видом бактерий, например, непатогенным, может содержать патогенный штамм, что способствует выживаемости последнего.

В настоящее время проблема биопленкообразования в различных областях хозяйственной деятельности считается весьма важной и исследуемой, при этом данное явление наиболее изучено в медицине.

Бактериальное биопленкообразование и связанные с ним риски характерны для пищевых производств. Любая пищевая система содержит большое количество питательных веществ и является идеальной и доступной средой для развития разного рода бактерий, в т.ч. патогенных. Кроме того, как правило, благоприятные условия функционирования пищевых производств – комфортные теплые положительные температуры, влажная воздушная среда, большие площади способствуют росту микроорганизмов, которые активно развиваются и циркулируют в технологическом потоке. В результате имеют место высокие риски бактериальной контаминации

пищевых систем и потенциальная возможность выработки небезопасных продуктов питания, что может привести к болезням пищевого происхождения.

Совокупность особенностей формирования бактериальных биопленок позволяет бактериям прикрепляться и образовывать матрикс на поверхностях технологического оборудования, пищевых продуктов и упаковочных материалов. Наиболее опасно развитие биопленок на поверхностях основного и вспомогательного оборудования, имеющих шероховатую или пористую поверхность, со стыками, швами и прочими труднодоступными участками, благоприятными для локализации, развития и постоянной циркуляции микробов по технологическому потоку. Указанное приводит не только к инфицированию технологического потока, но и ухудшению санитарно-гигиенического состояния пищевого производства в целом, которое напрямую связано с безопасностью и качеством вырабатываемой пищевой продукции. Кроме того, в настоящее время обнаружение и идентификация бактерий в состоянии биопленки затруднены, поскольку ее экзополисахаридный матрикс препятствует переносу бактерий на питательные среды, из-за чего высока вероятность получения ложноотрицательных результатов микробиологических посевов.

В таблице 5 приведены основные, обладающие способностью к биопленкообразованию бактерии, характерные для отдельных пищевых систем. В основном это патогенные бактерии, формирующие биопленки на начальных этапах технологического потока. В таком состоянии они долгое время могут существовать, не проявляя активности; защищены от неблагоприятных факторов внешней среды и антибактериальных средств; устойчивы к стандартным процедурам очистки и дезинфекции, что позволяет им циркулировать в условиях пищевых производств, приводя к контаминации пищевой продукции.

Таблица 5 – Основные бактерии-биоленкообразователи в отдельных пищевых системах

Пищевая система	Основные бактерии-биоленкообразователи	Этап технологического потока образования биоленки
1 Мясоперерабатывающего производства	<i>Listeria monocytogenes</i>	Начальный этап переработки мяса
2 Рыбоперерабатывающего производства	<i>Vibrio</i>	Начальный этап переработки рыбной продукции
3 Птицеперерабатывающего производства	<i>Salmonella, Campylobacter</i>	Начальный этап переработки мяса птицы, птицефермы
4 Молочного производства	<i>Staphylococcus, Listeria</i>	Начальный этап переработки молока
5. Производства сыров	<i>Pseudomonas</i>	Промежуточный этап производства (например, при переворачивании сырных головок)
6. Производства белого свекловичного сахара	<i>Leuconostoc mesenteroides, Leuconostoc dextranicum</i>	Начальный этап переработки сахарной свеклы (подача, мойка, изрезывание корнеплодов)

Для производства свекловичного сахара характерными образателями бактериальной биологической пленки являются слизеобразующие бактерии рода *Leuconostoc mesenteroides* и *Leuconostoc dextranicum*, относящиеся к семейству стрептококковых; они считаются безвредными для человека. Но с технологической точки зрения они представляют большую опасность. Полуфабрикаты, полученные из бактериально инфицированных корнеплодов: свекловичная стружка, диффузионный сок служат хорошим субстратом для развития этих бактерий. Кроме того, наличие в технологической линии на начальных этапах гидротранспортирования, отмывания корнеплодов, получения свекловичной стружки соответствующих внешних условий: благоприятная температура, влажная среда, легкая доступность к питательным веществам, наличие поверхности раздела твердой, жидкой и

газовой фаз способствуют биопленкообразованию.

Эти бактерии вызывают разложение сахарозы, при этом ее молекула расщепляется на фруктозу, которая усваивается микроорганизмами, и глюкозу, из которой путем полимеризации образуется декстран. Этот полисахарид, представляющий собой разветвленный полимер глюкозы на 95 % с  $\alpha(1\rightarrow6)$ -гликозидными связями, является структурной основой экзополимерного матрикса биопленки. Наличие биопленки помогает бактериям выдерживать температуру 85...90 °С, при температурах 43...45 °С бактерии способны размножаться, активно продуцируя декстран.

Присутствие в сахарной свекле даже небольших количеств декстрана осложняет технологический процесс производства сахара. Инфицированными оказываются полуфабрикаты производства и конечный продукт – белый сахар. Установлено, что сахарная свекла, содержащая более 0,5 г декстрана на 100 г находящейся в ней сахарозы, непригодна для получения сахара.

В технологических процессах производства сахара декстран удалить затруднительно. При известково-углекислотной очистке диффузионного сока удаляется 20...25 % декстрана, остальное количество переходит в очищенный сок. Декстран, обладая положительным зарядом, не сорбируется на карбонате кальция, лишь незначительная его часть образует с частицами последнего желатинозный, плохо фильтруемый осадок. При этом в присутствии декстрана скорость образования зародышей карбоната кальция значительно превышает скорость их роста, в результате выпадает мелкозернистый, слабо агломерированный осадок, затрудняющий фильтрацию. Так, сок второй ступени сатурации, полученный из хранившейся в течение 7 суток, замороженной и оттаявшей свеклы, содержит кристаллы осадка карбоната кальция размером 1...3 мкм, в то время как из сахарной свеклы, не содержащей декстран – 5...7 мкм. Адсорбция декстрана поверхностью фильтровальной ткани способствует замедлению процесса фильтрации. В основном фильтрацию затрудняют высокомолекулярные фракции декстрана с молекулярной массой  $10^5...10^7$ , фракции с массой  $10^4$  и ниже практически

не влияют на ее скорость. Активным углем и ионообменными смолами декстран практически не удаляется.

Далее по технологическому потоку декстран приводит к замедленной кристаллизации сахарозы и центрифугированию утфелей, препятствуя полному извлечению сахарозы. В процессе кристаллизации выпариванием воды кристаллами утфеля I ступени кристаллизации удерживается от 18 до 25 % декстрана к исходному содержанию его в растворе. Такой утфель плохо центрифугируется, ухудшаются условия отделения оттеков, возрастают потери сахарозы в мелассе, снижается качество белого сахара, увеличивается мутность его раствора. При кристаллизации сахарозы из сахарных растворов, содержащих декстран, происходит деформация кристаллов сахара – образуются кристаллы удлиненной, иглообразной формы, увеличивается количество конгломератов, что приводит к повышению гигроскопичности сахара, в связи с чем возникает опасность его порчи при хранении. Использование выработанного из такого некачественного сырья белого сахара в производстве безалкогольных и ликёро-водочных напитков, кондитерских изделий отрицательно влияет на процессы их производства: наблюдается ослизнение напитков, кваса, квасного суслу; затрудняется или полностью останавливается процесс фильтрации сахарного сиропа; забиваются трубопроводы, в них может образовываться слизистая пробка, которая полностью перекрывает поток. Отмеченные отклонения негативно сказываются на качестве продуктов, вызывая образование хлопьевидного осадка, появление непрозрачности, помутнения. Из-за разложения сахарозы количество используемого сахара оказывается меньше, чем требуется по рецептуре, в связи с чем уменьшается выход продукта.

Таким образом, в пищевых производствах патогенные бактерии существуют в форме биологических пленок, защищающих их от неблагоприятных факторов внешней среды и антибактериальных средств, что позволяет им циркулировать в условиях пищевых производств, приводя к

контаминации пищевой продукции. Для производства свекловичного сахара характерными образователями биопленки являются безвредные для человека слизеобразующие бактерии рода *Leuconostoc mesenteroides* и *Leuconostoc dextranicum*, которые представляют опасность с технологической точки зрения, в результате имеет место риск повышения потерь сахарозы, увеличения ресурсозатрат, ухудшения потребительских свойств вырабатываемого сахара.

### **3.2 Обоснование технологических приемов ингибирования бактериальной инфицированности процесса экстрагирования сахарозы**

Появившиеся в настоящее время новые знания о современном представлении микробиологической зараженности и аддитивном взаимодействии применяемых в комбинации химических веществ позволяют системно подойти к обоснованию технологических приемов переработки бактериально инфицированной сахарной свеклы на основе применения функциональных ТВС в производстве белого сахара.

Рассмотрим научные аспекты образования биопленок, их устойчивости и устранения в условиях свеклосахарного производства.

Биопленкообразователи слизеобразующие бактерии рода *Leuconostoc*, поступают в технологический поток с корнеплодами сахарной свеклы, находясь, как правило, в свободной плактонной форме. Свободные бактерии путем адсорбции прикрепляются друг к другу и к поверхности корнеплодов, оборудования тракта подачи, образуя монослои. Далее бактерии формируют микроколонию, продуцируя из сахарозы внеклеточное полимерное вещество декстран, обеспечивающего прочную адгезию. Микроколонию соединяются, осуществляется уплотнение экзополимерных образований, т.е. происходит созревание биопленки. Наиболее эффективно процесс биопленкообразования протекает на свекловичной стружке и в диффузионном соке, поскольку они

являются хорошим субстратом для развития этих бактерий и накопления экзополимера декстрана. В состоянии биопленки бактерии защищены экзополимерным матриксом от действия антимикробных факторов, имеющих место в технологическом потоке производства сахара – антимикробных средств, высокой температуры и щелочной среды. Поэтому слизиобразующие бактерии могут циркулировать по всему потоку, даже попадать в готовую продукцию. Практика работы свеклосахарных заводов с зараженной слизистым бактериозом сахарной свеклой демонстрирует визуальные примеры этого явления: слизистые капсулы, имеющие внешний вид «лягушечьей икры», обнаруживаются в производственных соках, на фильтровальных тканях, в технологическом оборудовании: клеровочных мешалках, пылеуловителях, сушильных установках и др.

Применяемые в свеклосахарном производстве антимикробные средства направлены на подавление роста и уничтожение планктонных форм микроорганизмов. Механизм их действия заключается в угнетении дыхания и обменных процессов микроорганизмов в результате разрушения клеточных мембран микробной клетки. Когда микроорганизмы находятся в форме биопленок, они устойчивы к действию антимикробного средства, поскольку защищены экзополимерным матриксом. Поэтому, используемый на сахарных заводах при переработке бактериально инфицированной сахарной свеклы прием применения высокоэффективных антимикробных средств в увеличенных дозах не дает желаемого результата. Отмеченное можно объяснить следующим.

Полимерное вещество декстран, являясь диффузионным барьером для молекул антимикробных средств, не позволяет им проникать внутрь биопленки для выполнения своего функционального действия. Т.е. сначала необходимо разрушить матрикс биопленки. Наиболее эффективно могут решить эту проблему ферментные препараты класса декстраназ. Они, разрывая гликозидную связь декстрана с присоединением воды, растворяют полисахаридную (слизевую) часть матрикса и таким образом разрушают

биопленку. В результате ферментный препарат предоставляет антимикробному средству свободный доступ внутрь биопленки к микрофлоре для выполнения его непосредственной технологической функции – уничтожения бактерий. На рисунке 4 схематично показаны механизмы формирования биопленки на свекловичной стружке и воздействия на нее антимикробного средства и ферментного препарата.



Рисунок 4 – Образование биопленки на свекловичной стружке и воздействие на нее антимикробного средства и ферментного препарата

Аналогично протекают процессы биопленкообразования, разрушение биопленки и уничтожение микроорганизмов под действием ферментного препарата и антимикробного средства в условиях получения диффузионного сока. При этом в процессе экстрагирования сахарозы для снижения пенообразования применяют пеногасители. Использование этих трех функциональных ТВС осуществляют на основе локальных технологий их применения, включающих способы, точки и оптимальные дозы введения, автоматические установки для приготовления и дозирования рабочего раствора препарата. Эти локальные технологии разработаны, как правило, производителями средств лишь с точки зрения узкой цели его применения в процессе без учета взаимодействия средств между собой. В то время как совместное действие разных функциональных ТВС на формируемую пищевую систему диффузионного сока может быть совершенно иным, чем изолированное действие каждого средства. Они могут усиливать или



ослаблять действие друг друга за счет независимых синергетических и антагонистических эффектов.

Для понимания эффектов синергизма/антагонизма введен термин «аддитивность», означающий отсутствие взаимодействия. Т.е. при комбинированном действии факторов, каждый из них проявляет свой независимый эффект, сумма этих эффектов, представляющая собой аддитивный эффект, характеризует взаимодействие этих факторов. Любое отклонение от аддитивности рассматривается как: синергизм – более, чем аддитивное; антагонизм – менее, чем аддитивное. Известно, что комбинированное действие химических веществ, к которым относятся лекарственные препараты, пищевые добавки, средства защиты растений, в большинстве случаев носит аддитивный характер, выявление которого для каждой производственной сферы имеет свои особенности в части экспериментальных подходов и математических методов. Знание о наличии синергии открывает новый уровень эффективного использования химического вещества в комбинации. А для совместно применяемых ТВС в производстве сахара дает возможность осуществить интегрирование локальных их технологий в технологический поток, обеспечивая повышение результативности его функционирования.

С учетом приведенных выше современных знаний нами в последние годы были проведены многочисленные исследования с широким спектром направлений, посвященные ингибированию бактериальной инфицированности процесса экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки путем применения ТВС функциональных групп ферментные препараты, антимикробные средства и пеногасители. Были получены закономерности изменения репрезентативных показателей пищевой системы технологического потока от получения диффузионного сока до сиропа из бактериально инфицированной сахарной свеклы под совокупным действием различных конкретных препаратов функциональных ТВС в оптимальных дозах согласно технической документации производителей средств.

В исследованиях использовались корнеплоды сахарной свеклы урожая 2012-2024 гг., выращенные в Белгородской, Воронежской, Курской, Орловской и Тамбовской областях, Краснодарском крае, Республике Башкортостан, свежескопанные и после разных сроков и условий хранения. Все они были поражены бактериями рода *Leuconostoc*: в период вегетации или в процессе хранения после замораживания и оттаивания. Содержание пораженных корнеплодов в общей массе варьировало от 15 % до 25 %; степень развития болезни – от начального заражения до высокого уровня развития.

Корнеплоды, пораженные в период вегетации, внешне не отличались от здоровых: поверхностная ткань была преимущественно светло-бежевого цвета с отсутствием пятен (рис. 5 а); на разрезе ткань оценивалась как плотная, бело-кремового цвета с визуализацией сосудов светло-бежевого цвета (рис. 5 б).



а



б

Рисунок 5 – Корнеплоды сахарной свеклы, пораженные бактериями *Leuconostoc* в период вегетации: а – внешний вид; б – вид ткани на продольном разрезе

Корнеплоды, пораженные в процессе хранения, внешне отличались. Их поверхностная ткань имела грязно-серый цвет с оттенками темно-серого тона, черными пятнами, состояние ткани оценивалось как мягкая, мокрая, отслаивающаяся с локализацией по всей поверхности корнеплодов (рис. 6 а).

На разрезе ткань была серо-желтого цвета с оттенками темно-серого тона, черными пятнами, мягкая, водянистая, расслаивающаяся, при сжатии ткани выделялся слизевый экссудат (рис. 6 б).



а



б

Рисунок 6 – Корнеплоды сахарной свеклы, пораженные бактериями *Leuconostoc* в период хранения: а – внешний вид; б – вид ткани на продольном разрезе

Бактериальную инфицированность свекловичного и диффузионного соков определяли методом прямого светлопольного микроскопирования мазка «раздавленная капля», визуализирующего продукты жизнедеятельности слизиобразующих бактерий в присутствии красителя «Блэк 0». Количество слизистых включений (штук) определяли в среднем по 10 полям зрения мазка, которое характеризовало степень инфицированности: нулевая – 0, первая – не более 1, вторая – от 2 до 5, третья – от 6 до 10, четвертая – более 11. В наших исследованиях бактериальная инфицированность свекловичного сока продуктами жизнедеятельности слизиобразующих бактерий в основном характеризовалась второй степенью.

В качестве репрезентативных показателей пищевой системы использовали оценочные индикаторы функционального действия ТВС: содержание ВМС в диффузионном соке, включающих в том числе и полисахарид декстран, на основании которого можно косвенно оценить гидролизующее действие ферментного препарата; содержание молочной кислоты в диффузионном соке, которая является одним из основных

продуктов жизнедеятельности микроорганизмов в сахарном производстве и может характеризовать уровень выполняемости функционального действия антимикробного средства; высота столба пены в диффузионном соке, характерная для оценки процесса пенообразования и, соответственно, эффективности действия пеногасителя. Также исследовали основные технологические показатели полуфабрикатов, характеризующие состояние пищевой системы: чистота, рН, цветность, мутность, скорость осаждения; определяли эффекты очистки сока на локальных стадиях.

В качестве ТВС использовали препараты с соответствующим заданным расходом на 1000 т свеклы: ферментный препарат Декстрасепт 2 по ТУ 20.14.64-001-09265941-2017 «Препарат технологический вспомогательный ферменто-антисептирующий «Декстрасепт» (композиции: «1», «2», «6»). Технические условия» – 4...8 кг; антимикробное средство Бетасепт по ТУ 2381-001-92287788-2014 «Антисептирующий препарат Бетасепт. Технические условия» или Нависан М1 по ТУ ВУ 500523189.032-2010 «Средства дезинфицирующие «Нависан». Технические условия» – 1...2 кг; пеногаситель Волтес ФСС 93 по ТУ 2226-100-34686523-09 «Пеногасители для сахарных производств. Технические условия» или Лапрол ПС-1 по ТУ 2226-042-10488057-2008 «Пеногаситель Лапрол. Технические условия» – 10...20 кг.

Исследования проводили на основе методов физического и математического моделирования последовательных технологических процессов производства белого сахара: получение свекловичной стружки, экстрагирование сахарозы, известково-углекислотная очистка диффузионного сока, сгущение очищенного сока (рис. 7).

В совокупности алгоритм исследований включал: проведение различных вариантов опытов и получение значений соответствующих репрезентативных показателей равновесного состояния пищевой системы; выявление эффектов взаимодействия изучаемых ТВС и наличия между ними аддитивности; создание условий для проявления синергии путем технологических и технических приемов; интегрирование в технологический

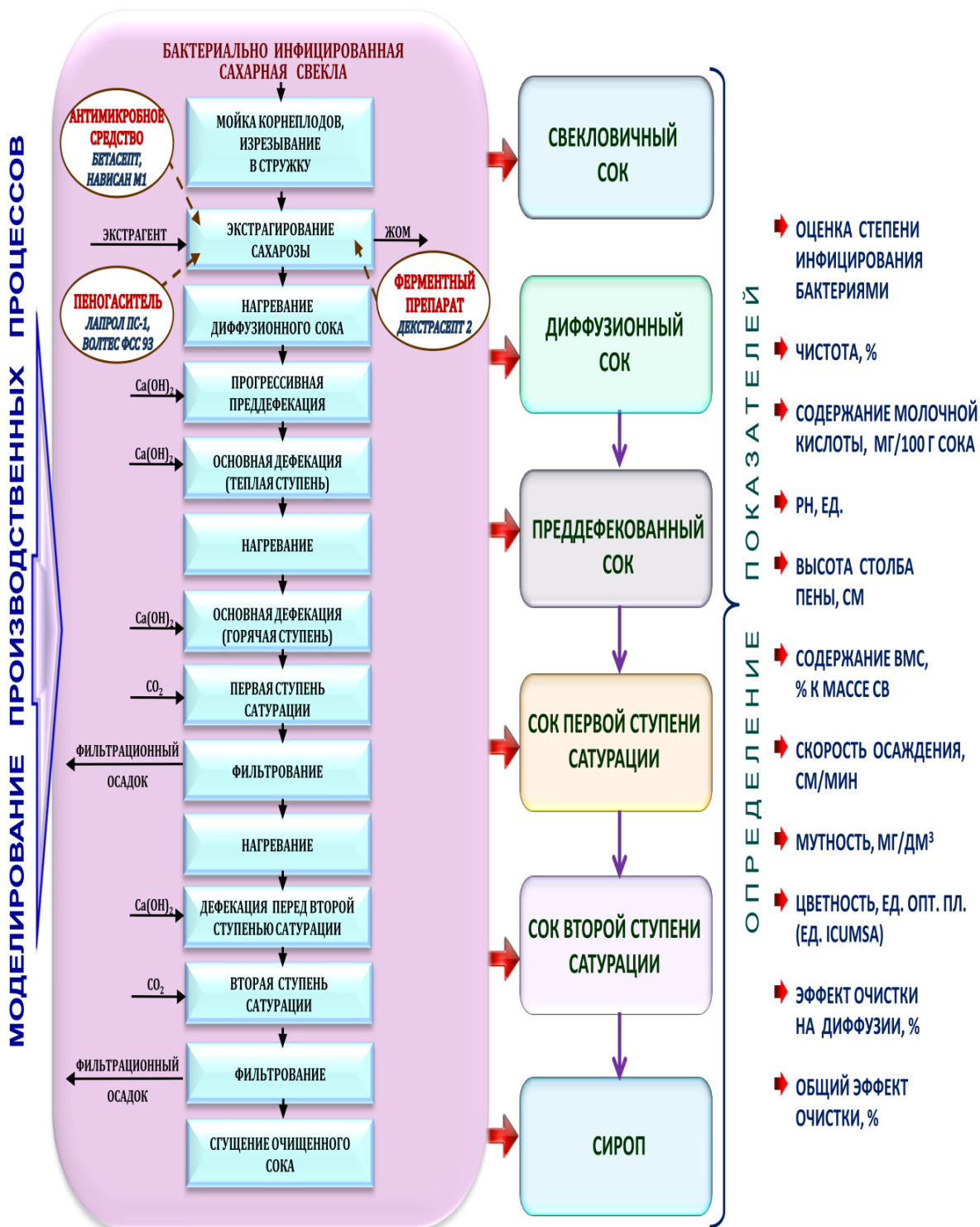


Рисунок 7 – Схема проведения экспериментов в лабораторных условиях

поток локальных технологий применения ТВС. Исследования проводили с использованием практических положений теории планирования эксперимента на основе регрессионного и дисперсионного анализов с использованием программ MS Excel, XL STAT 2013.

Изучение автономного применения антимикробных средств и совместного применения ферментного препарата и антимикробного средства в процессе экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки бактериально инфицированной сахарной свеклы подтвердили эффективность ингибирования микробной зараженности процесса при совместном последовательном действии средств. Совокупное взаимодействие ферментного препарата и антимикробного средства обеспечило эффективное протекание не только процесса экстрагирования сахарозы, но и положительно отразилось на протекании последующих процессов известково-углекислотной очистки и сгущения очищенного сока. Так, имело место повышение чистоты полуфабрикатов при совместном применении препаратов в среднем на 1,1...1,5 % (рис. 8). Отмечалось повышение общего эффекта очистки диффузионного сока в среднем на 2,4 % со снижением мутности очищенного сока и сиропа в среднем на 22,5 % и 25,5 %, соответственно.

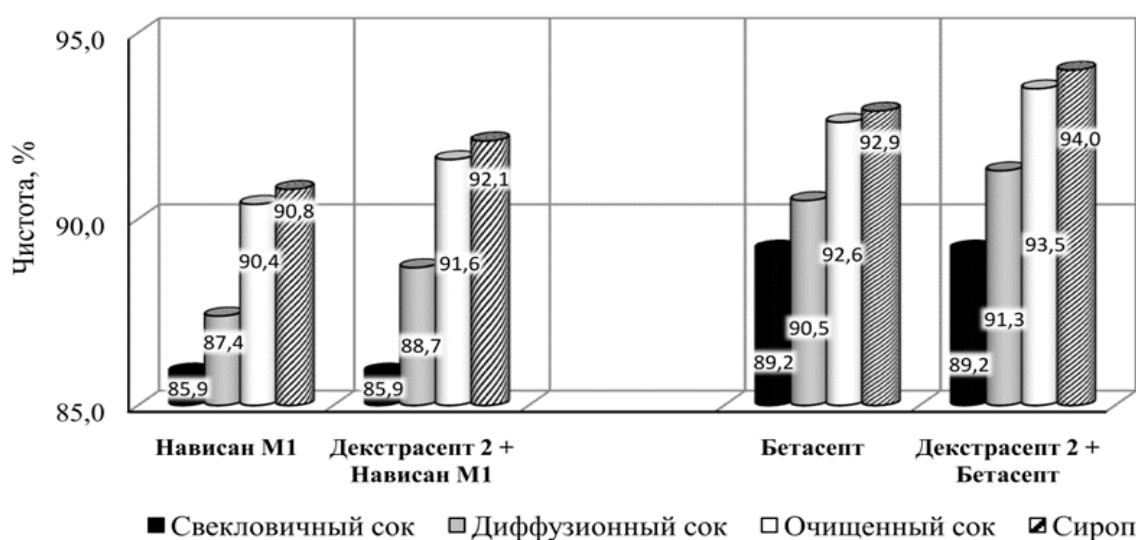


Рисунок 8 – Чистота полуфабрикатов из бактериально инфицированной сахарной свеклы при автономном и совместном действии ТВС

Изучение аддитивного влияния совместно применяемых ТВС в процессе экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки на формирование устойчивого состояния пищевой системы проводили при разных оптимальных дозах. Матрица плана экспериментов представлена в таблице 6, где дозы дифференцированы по уровню: максимальная (М), средняя (С) и минимальная (Н).

Таблица 6 – Матрица плана экспериментов

Наименование ТВС	Вариант опыта												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ферментный препарат	Н	М	Н	М	М	Н	Н	Н	С	С	С	С	С
Антимикробное средство	Н	Н	М	М	С	С	С	С	М	М	Н	Н	С
Пенегаситель	Н	С	С	М	М	Н	М	Н	М	Н	М	Н	С

Улучшение микробиологического состояния процесса экстрагирования сахарозы при совокупном действии ферментного препарата в максимальной и средней дозах, антимикробного средства и пеногасителя в максимальных дозах подтверждают результаты микроскопирования свекловичного и диффузионного соков. Они визуально отражают изменение количественного содержания в них полисахаридных слизевых веществ и свидетельствуют о положительном эффекте совместного действия ТВС (рис. 9).

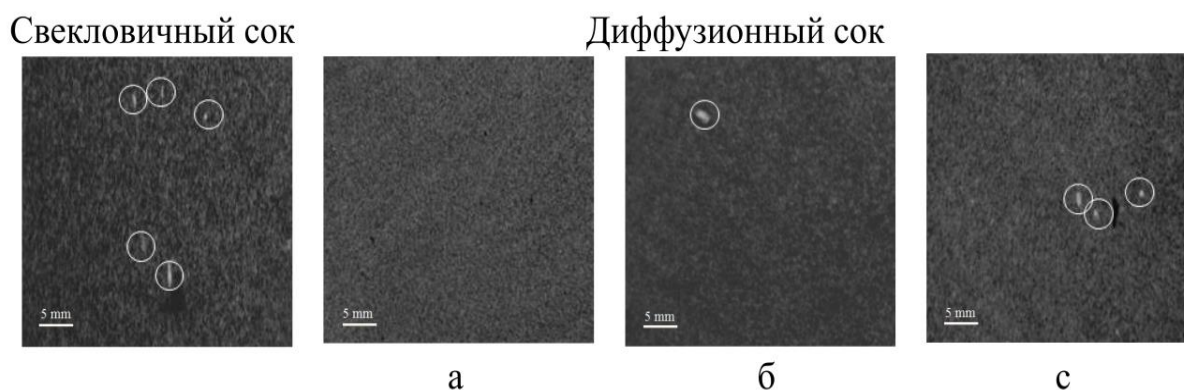


Рисунок 9 – Микрофотографии слизистых включений в соках при дозах ввода ТВС: а – вариант 4; б – вариант 9; с – вариант 1

Так, образец свекловичного сока исследуемых корнеплодов содержал в поле зрения микроскопа 5 слизистых включений; в образцах диффузионного сока отмечалось их снижение или отсутствие. Отсутствие слизистых включений (рис. 9, а) наблюдалось при применении всех препаратов в максимальных дозах (вариант 4). Значительное снижение включений имело место при применении ферментного препарата в средних дозах (вариант 9), пеногасителя в максимальных дозах (рис. 9, б, с). Результат обусловлен положительным взаимодействием между препаратами, используемыми в достаточных количествах для ферментолиза высокомолекулярных полисахаридов, подавления и уничтожения слизиобразующей бактериальной микрофлоры.

Ингибирование бактериальной зараженности процесса экстрагирования сахарозы при совокупном действии ТВС в указанных максимальных и средних дозах позволило улучшить репрезентативные показатели диффузионного сока: отмечено снижение содержания молочной кислоты на 39 % и 36 %; содержания ВМС на 34 % и 31 %; повышение эффекта очистки на диффузии в 3,4 и 3,2 раза, соответственно, в сравнении с совместным применением ТВС в минимальных дозах (вариант 1).

Тенденция улучшения репрезентативных показателей полуфабрикатов при максимальных и средних дозах введения препаратов сохранилась на последующих процессах известково-углекислотной очистки и сгущения очищенного сока. Так, снижение цветности очищенного сока второй ступени сатурации по сравнению с совместным применением ТВС в минимальных дозах (рис. 10, вариант 1) составило 34 % и 27 %, а цветность сиропа была ниже на 35 % и 28 % (рис. 10, варианты 4 и 9).

При максимальных и средних дозах введения ТВС наблюдалась также положительная динамика изменения мутности соков первой и второй ступеней сатурации, сиропа (рис. 11).



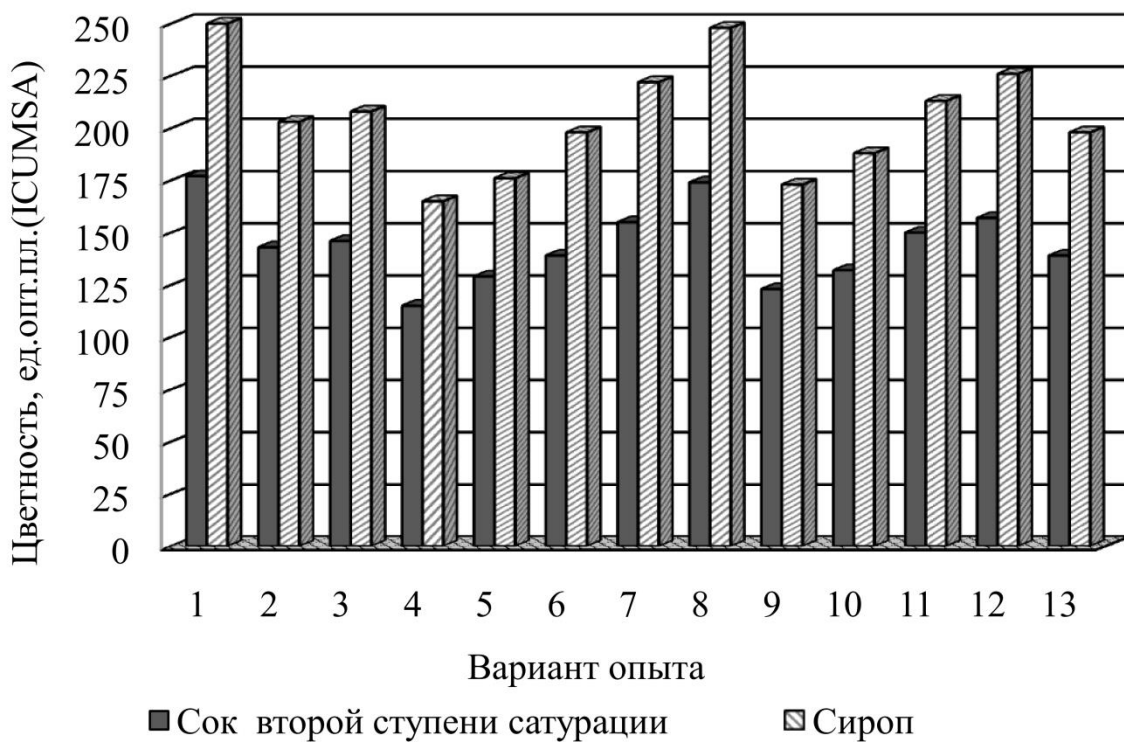


Рисунок 10 – Цветность полуфабрикатов технологического потока при разных дозах применения ТВС

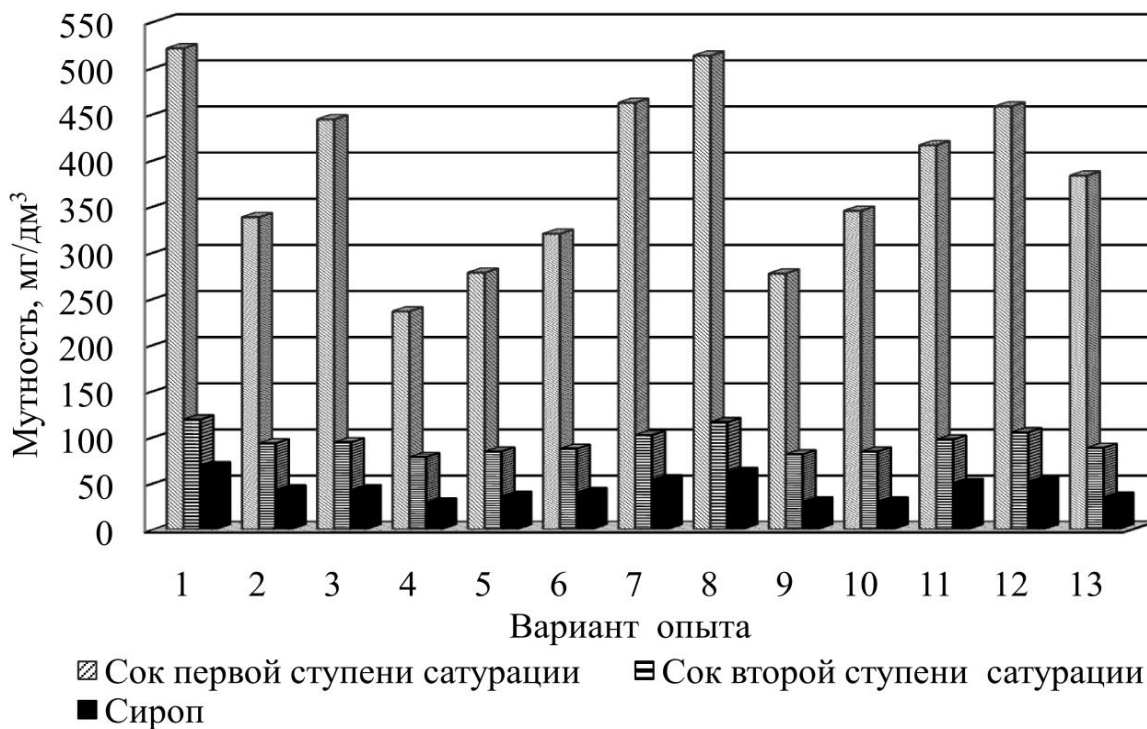
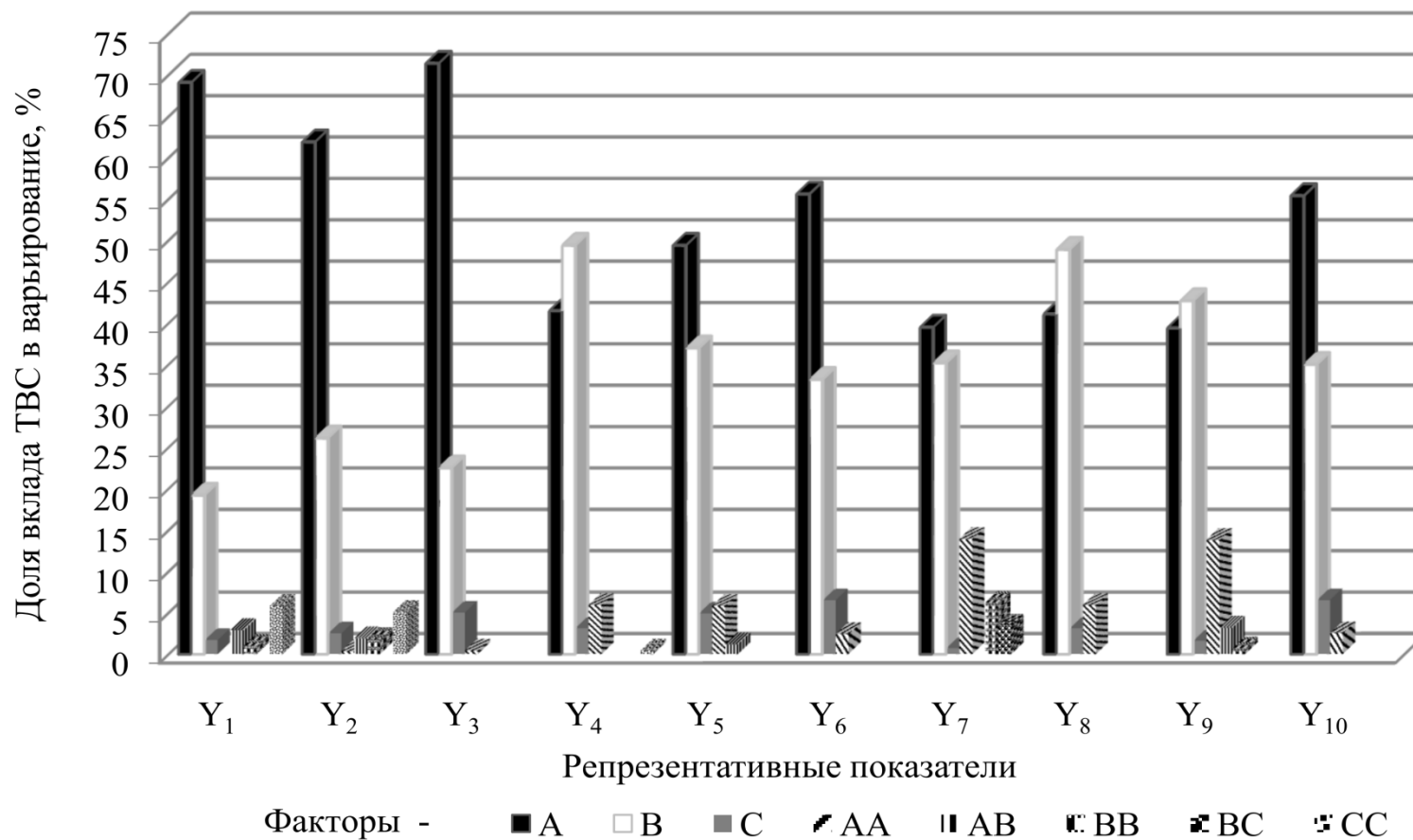


Рисунок 11 – Мутность полуфабрикатов из бактериально инфицированной сахарной свеклы при совместном применении изучаемых ТВС

В соответствии с производственной практикой белый сахар высокого качества – с мутностью его раствора менее 2 мг/кг вырабатывают при соблюдении значений мутности полуфабрикатов по технологическому потоку в пределах: 200...500 мг/дм<sup>3</sup> – для сока первой ступени сатурации, 70...100 мг/дм<sup>3</sup> – для сока второй ступени сатурации, 25...30 мг/дм<sup>3</sup> – для сиропа. При максимальных и средних дозах введения ТВС мутность соков и сиропа не превышала предельных значений (рис. 11, варианты 4 и 9). Также в этих вариантах отмечен более высокий общий эффект очистки диффузионного сока – на 2,2 % и 0,9 абс. % в сравнении с совместным применением ТВС в минимальных дозах (рис. 11, вариант 1).

Таким образом, применяемые в комбинации ферментный препарат, антимикробное средства и пеногаситель в максимальных и средних дозах в процессе экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки осуществляют микробиологическое ингибирование процесса, переводя пищевую систему в устойчивое равновесное состояние. Дальнейший стабильный формат состояния пищевой системы в технологических процессах известково-углекислотной очистки и сгущения сока приближен к состоянию пищевой системы при переработке здоровой сахарной свеклы.

Доля вклада каждого изученного функционального ТВС в отдельности в положительную динамику состояния пищевой системы, выраженного через репрезентативные показатели, варьировала: ферментного препарата – от 40 до 71 %, антимикробного средства – от 19 до 49 %, пеногасителя – от 1,6 до 6,5 % (рис. 12). В целом данные рисунка 12 иллюстрируют доминирующую роль влияния ферментного препарата и антимикробного средства в улучшении репрезентативных показателей исследуемых полуфабрикатов. Ферментный препарат оказывает заметное влияние на скорость осаждения, мутность и цветность полуфабрикатов; влияние антимикробного средства значимо отражено на чистоте полуфабрикатов. Кроме того, отмечено, что пеногаситель оказывает сильное влияние на высоту столба пены диффузионного сока: доля его вклада составляет 93 %.



Y<sub>1</sub> – скорость осаждения предефекованного сока, см/мин; Y<sub>2</sub> – скорость осаждения сока первой ступени сатурации, см/мин;  
 Y<sub>3</sub> – мутность сока первой ступени сатурации, мг/дм<sup>3</sup>; Y<sub>4</sub> – чистота сока второй ступени сатурации, %; Y<sub>5</sub> – мутность сока второй ступени сатурации, мг/дм<sup>3</sup>; Y<sub>6</sub> – цветность сока второй ступени сатурации, ед. опт. пл.; Y<sub>7</sub> – общий эффект очистки, %; Y<sub>8</sub> – чистота сиропа, %;  
 Y<sub>9</sub> – мутность сиропа, мг/дм<sup>3</sup>; Y<sub>10</sub> – цветность сиропа, ед. опт. пл.

Рисунок 12 – Доля вклада ферментного препарата (А), антимикробного средства (В), пеногасителя (С) в варьирование репрезентативных показателей пищевой системы

На основе математической обработки данных путем сравнения суммарного эффекта влияния функциональных ТВС на изменение каждого репрезентативного показателя с диапазоном варьирования его значений выявлен аддитивный характер действия ферментного препарата, антимикробного средства и пеногасителя при максимальных дозах введения ТВС.

На рисунке 13 показаны эффекты аддитивного влияния ТВС на изменение репрезентативных показателей, характеризующих функциональное действие средств – высоты столба пены, содержания молочной кислоты и содержания ВМС в диффузионном соке. Сумма эффектов действия исследуемых ТВС на изменение высоты столба пены, содержания молочной кислоты и содержания ВМС в диффузионном соке составила, соответственно, 7,8 %, 46,0 % и 9,6 %. При этом размах варьирования репрезентативных показателей был равен, соответственно, 7,8, 46,02 и 9,6. Следует предположить, что выявленную аддитивность взаимодействий изучаемых функциональных ТВС можно будет перевести в синергизм путем реализации определенных условий в технологиях применения ТВС.

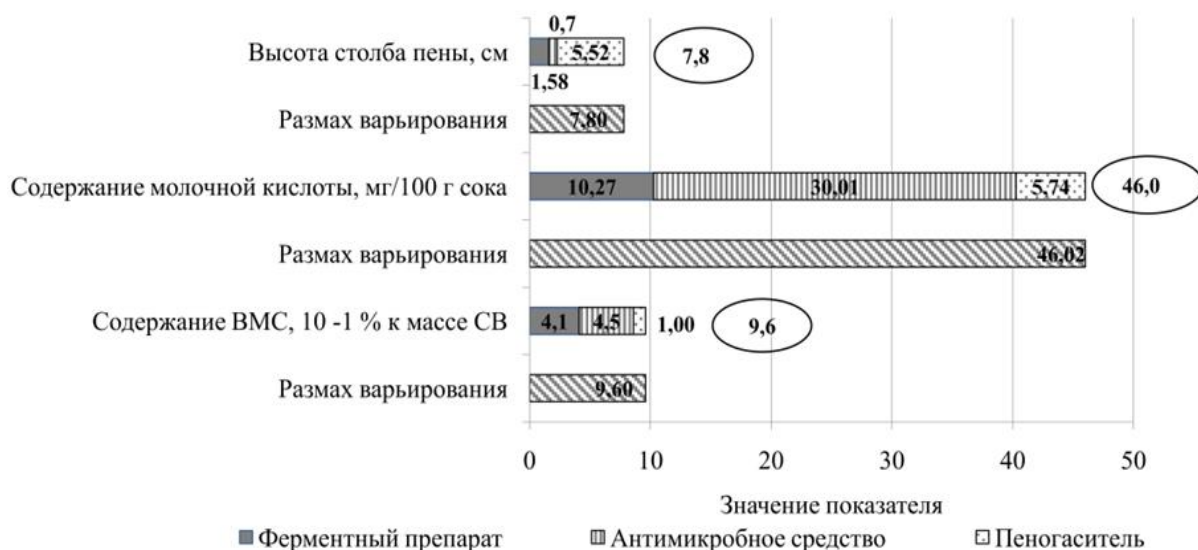


Рисунок 13 – Эффекты аддитивного влияния изучаемых ТВС на репрезентативные показатели пищевой системы

В результате проведенных исследований появилась возможность прогнозировать репрезентативные показатели пищевой системы. Получены регрессионные уравнения прогнозных значений репрезентативных показателей состояния пищевой системы: содержание ВМС ( $Y_1$ ), содержание молочной кислоты ( $Y_2$ ), высота столба пены ( $Y_3$ ), чистота диффузионного сока ( $Y_4$ ), чистота очищенного сока ( $Y_5$ ), чистота сиропа ( $Y_6$ ) в зависимости от доз применяемых в соответствии с принципом аддитивности ТВС. Уравнения адекватно отражают совокупное влияние ферментного препарата (фактор А), антимикробного средства (фактор В) и пеногасителя (фактор С) на репрезентативные показатели, что подтверждено соответствующими фактическими значениями критерия Фишера ( $F_{\text{факт}}$ ) и коэффициентов детерминации ( $R^2 = 0,93 \dots 1,00$  и  $R^2_{\text{adj}} = 0,86 \dots 1,00$ ).

$$Y_1 = 1,90 - 0,21A - 0,22B - 0,05C + 0,13AA + 0,01AB + 0,01BB - 0,01BC + 0,07CC$$

$$F_{\text{факт}} = 0,40; F_{\text{табл}} = 3,49; R^2 = 0,99; R^2_{\text{adj}} = 0,98 \quad (1)$$

$$Y_2 = 87,0 - 5,13A - 15,0B - 2,88C + 0,13AA + 3,00AB + 4,88BB + 3,50BC - 0,37CC$$

$$F_{\text{факт}} = 0,97; F_{\text{табл}} = 3,49; R_2 = 0,97; R^2_{\text{adj}} = 0,91 \quad (2)$$

$$Y_3 = 13,10 - 0,79A - 0,35B - 2,76C + 0,30AA + 0,33AB + 0,13BC - 2,32CC$$

$$F_{\text{факт}} = 0,57; F_{\text{табл}} = 3,49; R_2 = 1,00; R^2_{\text{adj}} = 1,00 \quad (3)$$

$$Y_4 = 90,7 + 0,30A + 0,31B + 0,09C - 0,17AA - 0,02AB - 0,10CC$$

$$F_{\text{факт}} = 0,15; F_{\text{табл}} = 3,49; R_2 = 1,00; R^2_{\text{adj}} = 1,00 \quad (4)$$

$$Y_5 = 93,3 + 0,28A + 0,30B + 0,07C + 0,19AA - 0,02AB - 0,03AC - 0,02BC - 0,09CC$$

$$F_{\text{факт}} = 0,08; F_{\text{табл}} = 3,49; R^2 = 0,98; R^2_{\text{adj}} = 0,94 \quad (5)$$

$$Y_6 = 93,8 + 0,28A + 0,30B + 0,07C - 0,19AA - 0,02AB - 0,03AC - 0,02BC - 0,09CC$$

$$F_{\text{факт}} = 0,58; F_{\text{табл}} = 3,49; R^2 = 0,98; R^2_{\text{adj}} = 0,94 \quad (6)$$

Данные исследований подтвердили результативность ингибирования микробиологической зараженности процесса при совокупном применении ТВС трех функциональных групп (таб. 7). Так, значения репрезентативных показателей диффузионного сока при совместном использовании ферментного препарата, антимикробного средства и пеногасителя были лучшими в сравнении с применением ТВС двух функциональных групп (ферментный препарат и пеногаситель, ферментный препарат и антимикробное средство), соответственно: чистота выше на 0,9 % и 0,7 % абс.; содержание ВМС ниже на 27 % и 23 %; содержание молочной кислоты меньше на 23 % и 22 %; высота столба пены ниже на 34 % и 5 %. Указанное позитивно отразилось на показателях очищенного сока: чистота выше на 0,9 % и 0,7 % абс.; общий эффект очистки диффузионного сока выше на 2,4 % и 1,9 % абс.; мутность ниже на 26 % и 16 %.

Таблица 7 – Репрезентативные показатели пищевой системы при применении функциональных ТВС

Вариант опыта	Репрезентативный показатель пищевой системы						
	диффузионного сока				очищенного сока		
	Ч, %	ВМС, % к массе СВ	К, мг/ 100 г сока	Н, см	Ч, %	О, %	М, мг/дм <sup>3</sup>
1. Ферментный препарат + пеногаситель	90,1	2,32	114	19,1	92,6	27,3	107
2 Ферментный препарат + антимикробное средство	90,3	2,18	97	13,4	92,8	27,8	97
3. Ферментный препарат + антимикробное средство + пеногаситель	91,0	1,69	76	12,7	93,5	29,7	81

Примечание: Ч – чистота; ВМС – содержание высокомолекулярных соединений; К – содержание молочной кислоты; Н – высота столба пены; О – общий эффект очистки; М – мутность

Результат совместного применения функциональных ТВС в процессе экстрагирования сахарозы по вариантам опыта выражен в виде карты результативности (рис. 14).

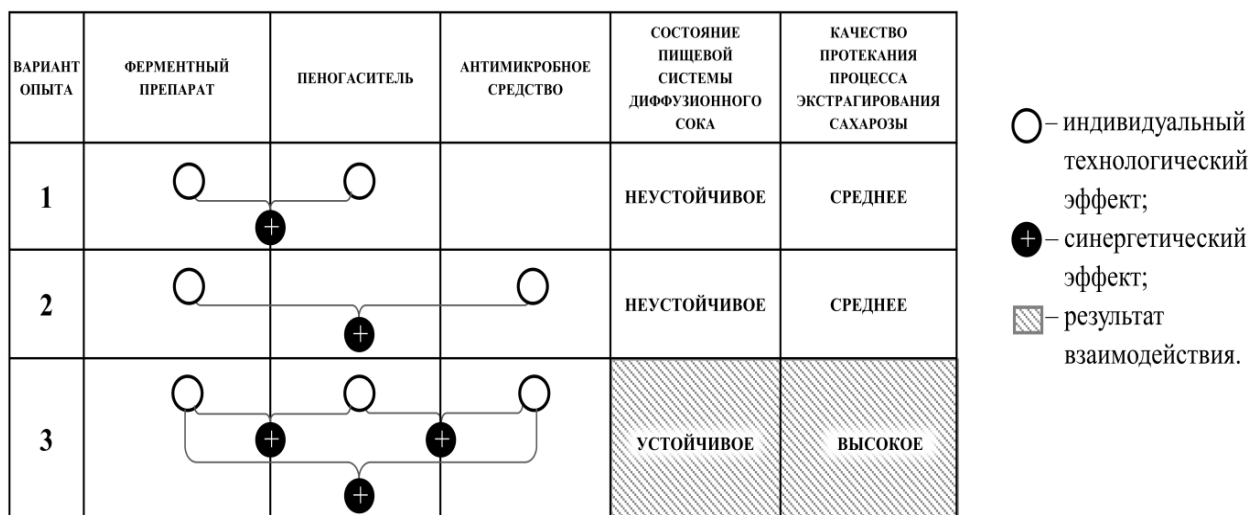


Рисунок 14 – Карта результативности совместного применения ТВС при экстрагировании сахарозы

Отмечается положительное совместное взаимодействие композиции ТВС, обусловленное синергетическим эффектом между ними. Каждое из средств, выполняя свое функциональное действие, способствует более эффективному проявлению индивидуального технологического эффекта другого средства. Таким образом, в формируемой пищевой системе диффузионного сока из бактериально инфицированной сахарной свеклы отмечается снижение развития микрофлоры, сильного пенения, газообразования. Система стремится к устойчивости, стабильности, что приводит к повышению качества протекания процесса экстрагирования сахарозы, сопровождаемого максимальной степенью извлечения сахарозы при минимальном переходе несахаров. Устойчивая пищевая система диффузионного сока трансформируется в устойчивую пищевую систему очищенного сока, последняя создает благоприятные условия для качественного протекания дальнейших процессов.

На основе анализа полученных результатов, механизмов функциональных действий антимикробного средства, пеногасителя и ферментного препарата, с учетом особенностей процессов технологического потока обоснованы технологические приемы адресности и

последовательности введения указанных средств на участке от подачи мытых корнеплодов в переработку до поступления диффузионного сока на очистку при переработке бактериально инфицированной сахарной свеклы (рис. 15).



Рисунок 15 – Структурная схема технологических приемов адресности и последовательности введения ТВС

Вначале на отмытые корнеплоды и свекловичную стружку вводят ферментный препарат для предотвращения формирования и элиминации (удаления) образующихся биопленок. Далее обработанная свекловичная стружка поступает в диффузионный аппарат, где соединяется с экстрагентом, в сокоотружечную смесь вводятся антимикробное средство, а затем пеногаситель.

Благодаря ферментализу полисахаридов, окружающих бактериальные клетки, антимикробное средство беспрепятственно может к ним проникать и разрушающе на них воздействовать. В свою очередь, антимикробное средство, нарушая целостность клеточных структур микроорганизмов и подавляя их жизненные функции, сдерживает формирование полисахаридов с высокой молекулярной массой, позволяя ферментному препарату более результативно выполнять свою функциональную задачу. Также антимикробное средство способствует вытеснению образующихся в микробиологических процессах пенообразователей с поверхности пузырьков пены, тем самым предоставляя беспрепятственный доступ к ним пеногасителя. При введении после антимикробного средства пеногасителя структурированная пленка пены еще более ослабевает и при перемешивании



не может противостоять соединению пузырьков, в результате они увеличивают свой объем и, лопаясь, исчезают. За счет удаления воздуха ликвидацией пены трехфазная система (жидкость-твердое тело-газ) переходит в двухфазную (жидкость-твердое тело), предпочтительную для эффективного протекания процесса экстрагирования сахарозы.

Пеногаситель, ликвидируя пену, способствует более равномерному распределению свекловичной стружки в диффузионном аппарате, улучшает циркуляцию экстрагирующей жидкости и, следовательно, содействует более тесному контакту как антимикробного средства с микрофлорой, так и ферментного препарата с полисахаридами. Далее в полученный диффузионный сок вводят ферментный препарат для гидролиза недоразрушенных полисахаридов, а остатки в соке планктонных слизиобразующих бактерий будут уничтожены на следующих процессах известково-углекислотной очистки под действием высокой температуры в щелочной среде.

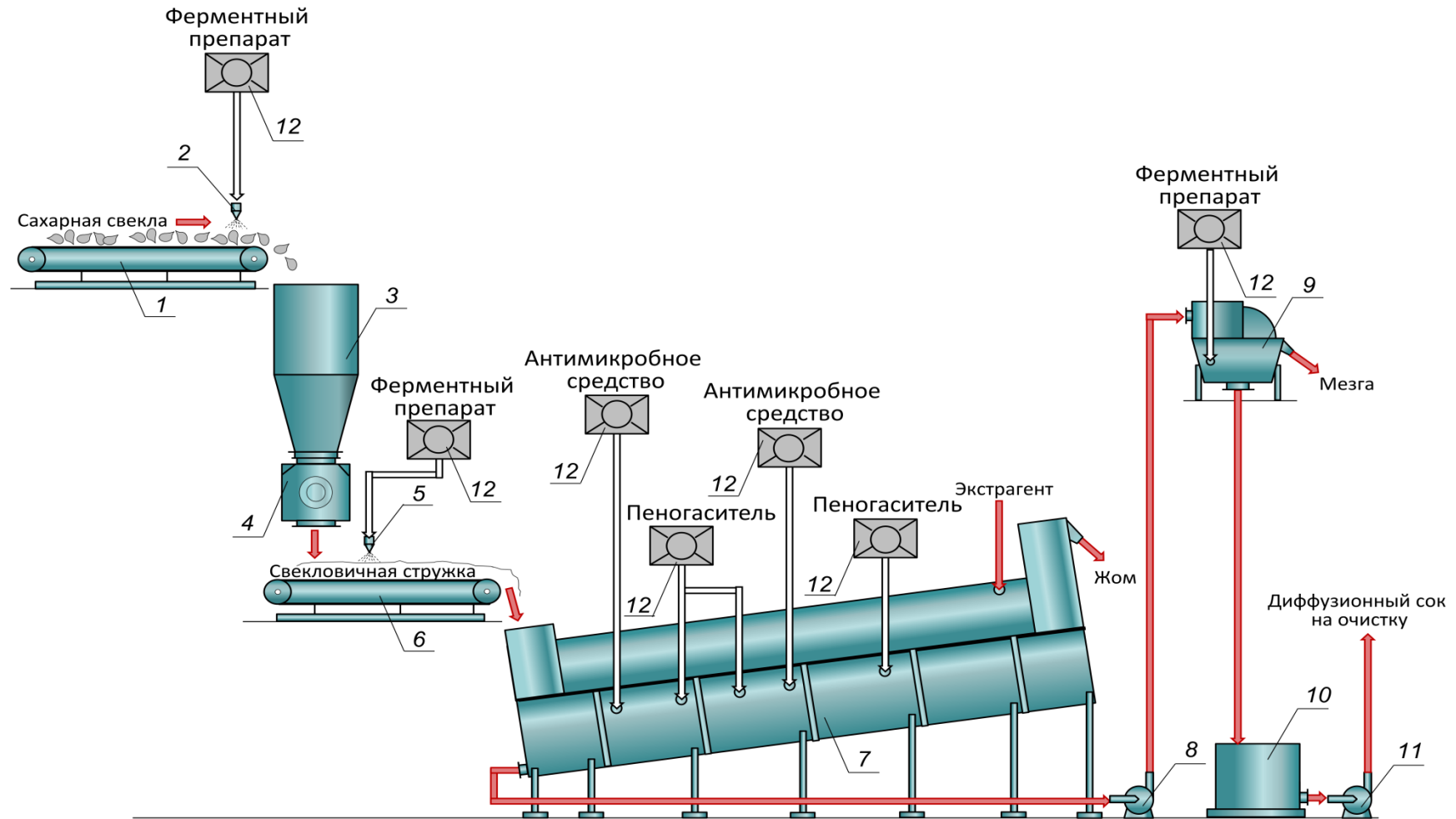
Таким образом, рассмотрены научные аспекты образования биопленок, их устойчивости и устранения в условиях сахарного производства; получены закономерности изменения репрезентативных показателей пищевой системы на участке технологического потока от получения диффузионного сока до сиропа под аддитивным влиянием функциональных ТВС; обоснованы технологические приемы адресности, последовательности совместного применения ферментного препарата, антимикробного средства и пеногасителя в процессе экстрагирования из свекловичной стружки, полученной из бактериально зараженной сахарной свеклы, позволяющие ингибировать бактериальную инфицированность пищевой системы, тем самым обеспечить дальнейшее эффективное функционирование технологического потока производства белого сахара.

### **3.3 Практические приемы применения технологических вспомогательных средств в процессе экстрагирования сахарозы из бактериально инфицированной сахарной свеклы**

Технологические приемы применения функциональных ТВС в процессе экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки бактериально инфицированной сахарной свеклы заключаются в последовательном введении ферментного препарата, антимикробного средства и пеногасителя в максимальных дозах в конкретные точки технологического участка от подачи мытых корнеплодов в переработку до поступления диффузионного сока на очистку. Условия применения функциональных ТВС зависят от степени бактериальной инфицированности корнеплодов: с ее повышением увеличивается количество точек ввода каждого средства. Кроме того, точки ввода непосредственно в процесс экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки отличаются для различных типов диффузионных аппаратов.

На рисунке 16 приведена схема процесса экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки в диффузионном аппарате наклонного типа, предназначенная для организации переработки бактериально инфицированной сахарной свеклы. В ней дополнительно обозначены точки ввода функциональных ТВС, позволяющие осуществить адресную доставку средства в заданную область пищевой системы.

Введение ферментного препарата в максимальной дозе осуществляют в три точки: 1/4 часть дозы наносится на отмытые корнеплоды сахарной свеклы, поступающие в бункер перед свеклорезками; 1/2 часть дозы наносится непосредственно на подаваемую в диффузионный аппарат свекловичную стружку; 1/4 часть дозы вводится в приемный сборник диффузионного сока мезголовушки. Именно в указанных точках ввода отмечено совпадение основных технологических параметров – температуры в диапазоне 20...65 °С, рН 6,3...6,5 и оптимальных параметров ферментолиза, а длительность перемещения полуфабрикатов от момента ввода ферментного



1, 6 – конвейер ленточный; 2, 5 – форсунка; 3 – сборник корнеплодов сахарной свеклы; 4 – свеклорезка;  
7 – аппарат диффузионный; 8, 11 – насос; 9 – мезголовушка; 10 – сборник диффузионного сока; 12 – узел приготовления  
и дозирования ТВС

Рисунок 16 – Схема экстрагирования сахарозы при переработке бактериально инфицированной сахарной свеклы на основе совместного применения ТВС

препарата до второй зоны диффузионного аппарата, совпадает с продолжительностью его действия (до 20 мин), что обеспечивает проявление его максимальной гликозидазной активности в условиях продолжающегося развития бактериального инфицирования. Таким образом, локация ввода ТВС позволяет активно разрушать биопленки и переводить микроорганизмы в свободную форму.

Антимикробное средство вводят в две точки: по 1/2 оптимальной дозы во вторую и третью зоны диффузионного аппарата. Ввод антимикробного средства после введения и действия ферментного препарата позволяет ему беспрепятственно взаимодействовать с находящимися уже в свободной форме микроорганизмами, уничтожая и подавляя их развитие.

Пенегаситель вводят в диффузионный аппарат непосредственно в зону пенения, как правило, в три точки: по 1/3 дозы в первую, вторую и третью зоны диффузионного аппарата. Введенный пенегаситель переводит пищевую систему диффузионного сока из трехфазной в двухфазную, улучшая циркуляцию экстрагирующей жидкости и способствуя стабилизации состояния пищевой системы. Таким образом создаются более благоприятные условия для выполнения функциональных действий ферментному препарату и антимикробному средству.

Для ввода антимикробного средства, пенегасителя и ферментного препарата используется индивидуальная для каждого средства автоматическая установка, включающая сборник с перемешивающим устройством для приготовления рабочего раствора препарата и дозирующий микрометрический насос, работающий постоянно в автоматическом режиме. На отмытые корнеплоды сахарной свеклы и свекловичную стружку ферментный препарат вводится путем форсуночного распыления для увеличения поверхности соприкосновения и обеспечения наиболее тесного контакта с полисахаридами.

Реализация описанных приемов позволит ингибировать микробиологическую зараженность процесса экстрагирования сахарозы из

свекловичной стружки бактериально инфицированной сахарной свеклы. Устранение этого негативного фактора будет способствовать эффективному решению технологической задачи процесса, заключающейся в максимальной полноте извлечения сахарозы с минимальным переходом несахаров в сок и потерями сахарозы. Указанное позволит получить диффузионный сок высокого качества, что в дальнейшем обусловит оптимальное протекание процессов известково-углекислотной очистки, сгущения очищенного сока, кристаллизации сахарозы, обеспечит максимально возможный выход белого сахара из бактериально инфицированной сахарной свеклы и его качество, соответствующее стандартным требованиям.

---

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей брошюре приведены общие сведения о бактериальной инфицированности сахарной свеклы при вегетации и хранении. Показано, что сахарная свекла современных гибридов в процессе выращивания и хранения подвержена заболеваниям бактериальной этиологии, а внедрение новых гибридов, устойчивых к грибным заболеваниям, приводит к усилению развития бактериозов. Отмечены наиболее опасные с точки зрения технологии сахара бактериальные заболевания – трахеобактериоз и слизистый бактериоз.

Рассмотрена основная локация жизнедеятельности слизиобразующих бактерий при переработке сахарной свеклы, которой является система диффузионного сока; приведены ее характеристики и негативные последствия инфицирования слизиобразующими бактериями.

С позиции новых знаний описаны формы существования бактерий в пищевых системах: планктонная и в виде биопленок. Последняя защищает бактерии от неблагоприятных факторов внешней среды и антимикробных средств, что позволяет им циркулировать в условиях технологического потока. Показано, что в производстве свекловичного сахара основными образователями биопленки являются слизиобразующие бактерии рода *Leuconostoc*, отмечена их опасность с технологической точки зрения.

Рассмотрены научные аспекты устранения биопленок в процессе экстрагирования сахарозы заданным последовательным применением ферментного препарата гликозидазного действия и антимикробных средств.

Показано результативное действие средств в комбинации в определенной последовательности и дозах, позволяющее ингибировать бактериальную инфицированность процесса экстрагирования сахарозы. Получены закономерности изменения репрезентативных показателей пищевой системы технологического потока производства белого сахара от

получения диффузионного сока до сиропа из бактериально инфицированной сахарной свеклы при организации направленного взаимодействия ферментного препарата, антимикробного средства и пеногасителя.

Обоснованы практические технологические приемы адресности и последовательности при совместном применении ферментного препарата, антимикробного средства и пеногасителя в процессе экстрагирования сахарозы из бактериально зараженной сахарной свеклы, позволяющие обеспечить дальнейшее стабильное состояние пищевой системы производства сахара.

---

## ЛИТЕРАТУРА

1. Агафонов, Г. В. О технологическом качестве сахарной свеклы, пораженной сосудистым бактериозом / Агафонов Г. В., Кульнева Н. Г., Путилина Л. Н. // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2018. – № 1. – С. 46-50.
2. Сотников, В. А. Анализ микробиологических и биохимических аспектов процесса переработки сахарной свеклы в сезоне 2022/2023 г. на заводах стран ЕАЭС. Решение проблем / В. А. Сотников, А. А. Сувалов, А. В. Сотников и др. // Сахар. – 2023. – № 5. – С. 4-10.
3. Апасов, И. В. Изменение технологических качеств корнеплодов сахарной свеклы, пораженных сосудистым бактериозом / И. В. Апасов, Л. Н. Путилина, Г. А. Селиванова // Сахар. – 2014. – № 9. – С. 35-38.
4. Панычева, Ю. С. Бактериальные болезни сахарной свеклы в Российской Федерации: распространение и вредоносность / Ю. С. Панычева, М. В. Воронина, В. О. Гресис и др. // Сахар. – 2017. – № 11. – С. 26-30.
5. Беляева, Л. И. Использование ферментных препаратов – актуальное направление в современной технологии сахара / Л. И. Беляева, А. В. Остапенко, В. Н. Лабузова // Пищевая промышленность. – 2019. – № 4. – С. 25-26.
6. Беляева, Л. И. Системное применение технологических вспомогательных средств разной функциональной направленности / Л. И. Беляева, А. В. Остапенко // Сахар. – 2021. – № 7. – С. 32-38.
7. Сотников, В. А. «Бетасепт» и «Декстрасепт»: на всех фронтах борьбы с бактериальной инфекцией / В. А. Сотников, А. В. Сотников, В. Уайлд и др. // Сахар. – 2017. – № 4. – С. 16-20.
8. Богомолов, М. А. Продуктивные и устойчивые к болезням гибриды сахарной свеклы / М. А. Богомолов, Т. В. Вострикова // Сахарная свекла. – 2023. – № 10. – С. 2-8.



9. Богомолов, М. А. Создание устойчивых к болезням гибридов сахарной свеклы и их компонентов / М. А. Богомолов, Т. В. Вострикова // Сахарная свекла. – 2021. – № 10. – С. 16-18.

10. Беляева, Л. И. Влияние ферментативной обработки на качество технологических соков при производстве сахара из бактериально инфицированной сахарной свеклы / Л. И. Беляева, М. К. Пружин, А. В. Остапенко и др. // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2020. – № 1. – С. 38-51.

11. Беляева, Л. И. Влияние ферментной обработки на вязкость бактериально инфицированного диффузионного сока свеклосахарного производства / Л. И. Беляева, В. Н. Гурова, М. К. Пружин и др. // Пищевая промышленность. – 2021. – № 9. – С. 18-20.

12. Гаджиева, Г. И. Вредоносность гнилей корнеплодов сахарной свеклы / Г. И. Гаджиева, О. В. Подковенко // Сахарная свекла. – 2022. – № 3. – С. 26-28.

13. Сотников, В. А. Декстрановые, левановые и леваноподобные слизи в сахароварении / В. А. Сотников, V. Wild, U. Moisch и др. // Сахар. – 2019. – № 4. – С. 36-41.

14. Гресис, В. О. Динамика развития комплекса возбудителей бактериоза сахарной свеклы в полевых условиях / В. О. Гресис, Е. Д. Фокина, А. Н. Игнатов и др. // Сахарная свекла. – 2022. – № 5. – С. 19-21.

15. Егорова, М. И. Развитие методологических аспектов идентификации болезней сахарной свеклы при поступлении в технологический поток производства сахара / М. И. Егорова, Л. Н. Пузанова, Л. Ю. Смирнова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2020. – № 3. – С. 134-148.

16. Егорова, М. И. Разработка дескрипторов для органолептической оценки сахарной свеклы с идентификацией болезней / М. И. Егорова, Л. Н. Пузанова, Л. Ю. Смирнова // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34. – № 1. – С. 56-61.

17. Ермолаева, Г. А. Микробиологические исследования эффективности средства «Волсепт Стерил» в отношении специфической микрофлоры при производстве сахара/ Г. А. Ермолаева, М. Б. Мойсеяк, Н. Г. Ильяшенко // Сахар. – 2017. – № 3. – С. 50-56.

18. Колоскова, О. В. Изучение влияния малотоксичных антимикробных препаратов на бактериальную активность и технологическое качество диффузионного сока / О. В. Колоскова, О. К. Никулина, М. Р. Яковлева и др. // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2022. – Т. 15. – № 1. – С. 80-87.

19. Костенко, Е. И. Причина развития гнилей корнеплодов сахарной свеклы неизвестной этиологии в Центрально-Черноземном регионе РФ // Сахар. – 2016. – № 2. – С. 32-34.

20. Кульнева, Н. Г. Санитарно-гигиенические мероприятия при хранении и переработке сахарной свеклы, пораженной трахеобактериозом / Н. Г. Кульнева, Г. В. Агафонов // Научные труды СКФНЦСВВ. – 2018. – Т. 20. – С. 76-83.

21. Кульнева, Н. Г. Микрофлора свеклосахарного производства: проблемы и пути решения / Н. Г. Кульнева, А. И. Шматова, Ю. И. Манько // Вестник ВГУИТ. – 2014. – № 1. – С. 193-196.

22. Лазарев, А. М. Бактериозы свеклы / А. М. Лазарев, Ф. А. Попов // Защита и карантин растений. – 2014. – № 12. – С. 27-29.

23. Тутельян, А. В. Методы борьбы с биологическими пленками на пищевых производствах / А. В. Тутельян, Ю. К. Юшина, О. В. Соколова и др. // Молочная промышленность. – 2020. – № 11. – С. 47-53.

24. Ильяшенко, Н. Г. Микробиологические аспекты в свеклосахарном производстве / Н. Г. Ильяшенко, Л. Н. Шабурова, М. Б. Мойсеяк и др. // Сахар. – 2022. – № 8. – С. 37-42.

25. Брандштеттер, О. Негативное влияние бактерий и микробных био пленок в сахарной промышленности / О. Брандштеттер, С. В. Гаценко, Д. Ю. Третьяков и др. // Сахар. – 2020. – № 4. – С. 22-26.

26. Абрахам, К. Некоторые аспекты применения декстраназы в сахарных растворах / К. Абрахам, С. Хаген, К. Шлюмбах и др. // Сахар. – 2017. – № 5. – С. 34-42.

27. Тутельян, А. В. Образование биологических пленок микроорганизмов на пищевых производствах / А. В. Тутельян, Ю. К. Юшина, О. В. Соколова и др. // Вопросы питания. – 2019. – Т.88. – № 3. – С. 32-43.

28. Остапенко, А. В. Роль ферментных препаратов в формировании устойчивого состояния пищевой системы диффузионного сока при переработке инфицированной сахарной свеклы / А. В. Остапенко, Л. И. Беляева // Проблемы и перспективы научно-инновационного обеспечения агропромышленного комплекса регионов : сб. матер. Междунар. науч.-практ. конф., Курск, 11-13 сентября 2019 г. – Курск : Курский ФАНЦ, 2019. – С. 308-312.

29. Остапенко, А. В. Обоснование показателей для оценки состояния пищевой системы диффузионного сока свеклосахарного производства // Инновации в научно-техническом обеспечении агропромышленного комплекса России : сб. матер. Всерос. Науч.-практ. конф., Курск, 05-06 февраля 2020 г. – Курск : КГСХА, 2020. – С. 231-235.

30. Очистка диффузионного сока в сахарном производстве / под общ. ред. З. В. Ловкиса. – Минск : Беларусь. Навука, 2013. – 232 с.

31. Паньчева, Ю. С. Селекция растений сахарной свеклы на устойчивость к бактериозам: проблемы и пути решения // Успехи современной науки. – 2017. – Т. 1. – № 10. – С. 90-93.

32. Путилина, Л. Н. Технологические качества и лежкоспособность корнеплодов сахарной свеклы с разной степенью увядания / Л. Н. Путилина, Н. А. Лазутина, И. В. Черепухина // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания. – 2019. – № 1. – С. 15-22.

33. Егорова, М. И. Руководство по организации контроля технологического потока производства сахара из сахароносного

растительного сырья (сахарной свеклы) / М. И. Егорова, Л. И. Беляева, Л. Н. Пузанова и др. – Курск : ФГБНУ «Курский ФАНЦ», 2022. – 186 с.

34. Сотников, В. А. Сезон 2016 года: слизистый бактериоз / В. А. Сотников, А. В. Сотников, V. Wild и др. // Сахар. – 2017. – № 3. – С. 18-22.

35. Селиванова, Г.А. Болезни сахарной свеклы при интенсификации технологии выращивания культуры // Земледелие. – 2013. – № 4. – С. 31-35.

36. Беляева, Л. И. Состояние пищевой системы диффузионного сока из инфицированной слизистым бактериозом сахарной свеклы при введении ферментных препаратов гликозидазного действия / Л. И. Беляева, А. В. Остапенко, В. Н. Лабузова и др. // Вестник ВГУИТ. – 2019. – Т. 81. – № 2. – С. 119-124.

37. Сотников, В. А. Практическое применение препаратов «Дефеказа» и «Фильтраза»: вопросы и ответы / В. А. Сотников, Т. Р. Мустафин, А. В. Сотников // Сахар. – 2020. – № 4. – С. 36-42.

38. Сотников, В. А. Технология удаления клёка в системе мокрой очистки аспирационного воздуха от сахарной пыли / В. А. Сотников, Т. Р. Мустафин // Сахар. – 2023. – № 1. – С. 28-31.

39. Стогниенко, О. И. Болезни сахарной свеклы в ЦЧР и возможности селекции на устойчивость к ним // Защита и карантин растений. – 2019. – № 11. – С. 18-23.

40. Стогниенко, О. И. Уточненный список болезней и патогенов сахарной свеклы / О. И. Стогниенко, Е. С. Герр // Сахарная свекла. – 2020. – № 10. – С. 21-23.

41. Сычева, И. В. Оценка распространенности болезней на гибридах сахарной свеклы / И. В. Сычева, С. М. Сычев, А. А. Осипов // Вестник Брянской ГСХА. – 2024. – № 2 (102). – С. 31-36.

42. Технологии сахарной промышленности / отв. ред. М. И. Егорова [и др.] // Пищевые технологии : энциклопедия. – Углич : ООО ИД Углич, 2018. – Т. 7. – 297 с.

43. Путилина, Л. Н. Технологическая оценка сахарной свеклы, инфицированной возбудителями сосудистого бактериоза в период вегетации / Л. Н. Путилина, Н. Г. Кульнева, Г. А. Селиванова и др. // Вестник ВГУИТ. – 2016. – № 3. – С. 239-246.

44. Беляева, Л. И. Технологические приемы ингибирования бактериальной инфицированности процесса экстрагирования сахарозы при производстве сахара / Л. И. Беляева, М. К. Пружин, А. В. Остапенко и др. // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35. – № 2. – С.25-32.

45. Беляева, Л. И. Улучшение технологических индикаторов полуфабрикатов производства сахара из бактериально инфицированной сахарной свеклы / Л. И. Беляева, М. К. Пружин, А. В. Остапенко и др. // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – Т. 51. – № 3. – С. 458-469.

46. Свиридов, А. В. Устойчивость гибридов сахарной свеклы к возбудителям болезней / А. В. Свиридов, М. С. Брилев, Н. А. Лукьянюк и др. // Сахар. – 2013. – № 6. – С. 39-45.

47. Беляева, Л. И. Ферменты с гликозидазной активностью в производстве свекловичного сахара: результативность применения / Л. И. Беляева, М. К. Пружин, А. В. Остапенко и др. // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34. – № 7. – С. 102-108.

48. Чернявская, Л. И. Эффективность сахарного производства в зависимости от технологических качеств свеклы / Л. И. Чернявская, В. Н. Кухар, А. П. Чернявский // Цукор України. – 2016. – № 8-9. – С. 44-50.

49. Шамин, А. А. Влияние устойчивости гибридов сахарной свеклы к гнилям и фунгицидных протравителей на почвенный и ризосферный фитопатогенный комплекс грибов свекловичного агроценоза / А. А. Шамин, О. И. Стогниенко // Сахарная свекла. – 2019. – № 1. – С. 24-27.

50. Каракотов, С. Д. Экспресс-метод идентификации возбудителей корневой гнили сахарной свеклы / С. Д. Каракотов, Н. В. Аршава, К. Н. Божко и др. // Защита и карантин растений. – 2019. – № 11. – С. 34-38.

51. Кухар, В. Н. Эффективность переработки сахарной свеклы в зависимости от ее технологических качеств и особенностей ведения процесса. Часть 1 / В. Н. Кухар, А. П. Чернявский, Л. И. Чернявская и др. // Сахар. – 2020. – № 1. – С. 19-31.

---

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Глава 1. Краткие сведения о бактериальной инфицированности сахарной свеклы при вегетации и хранении.....	5
Глава 2. Система диффузионного сока как основная локация жизнедеятельности слизиобразующих бактерий при переработке сахарной свеклы.....	16
Глава 3. Теоретические и практические аспекты ингибирования бактериальной инфицированности в локальной системе диффузионного сока .....	30
3.1 Формы существования бактерий в пищевых системах.....	30
3.2 Обоснование технологических приемов ингибирования бактериальной инфицированности процесса экстрагирования сахарозы..	37
3.3 Практические приемы применения технологических вспомогательных средств в процессе экстрагирования сахарозы из бактериально инфицированной сахарной свеклы.....	57
Заключение.....	61
Литература.....	63

УДК 664.1:633.63:664.1.03:577.1

ББК 36.84

Б 44

## **Научное издание**

Беляева Любовь Ивановна

**Обоснование технологических приемов переработки сахарной свеклы низкого качества** : брошюра / Л. И. Беляева, М. И. Егорова, Л. Н. Пузанова, А. В. Остапенко, Л. Ю. Смирнова. – Курск: ФГБНУ «Курский ФАНЦ», 2024. – 70 с. : 16 ил., 7 табл. – ISBN 978-5-6052912-4-4

Сдано в набор 10.12.2024 г. Подписано в печать 12.12.2024 г.

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 4,07. Тираж 550 экз. Заказ № 460.

Отпечатано: «Деловая полиграфия»

ИП Бескровный Александр Васильевич

г. Курск, ул. К. Маркса, 61 Б.

e-mail: zakaz-zachetka@mail.ru





**КУРСКИЙ  
ФАНЦ**



**ФГБНУ  
«КУРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ  
АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР»**

305021, Россия, г. Курск, ул. Карла Маркса, д. 706

Телефон: (4712) 53-42-56, факс: 53-67-29

E-mail: kurskfarc@mail.ru

ISBN 978-5-6052912-4-4



9 785605 291244 >