

УДК 664.1.03

UDC 664.1.03

05.00.00 Технические науки

Technical Sciences

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СУЩЕСТВУЮЩЕЙ И РАЗРАБОТАННОЙ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗВЛЕЧЕНИЯ САХАРОЗЫ ИЗ СВЕКЛОВИЧНОЙ СТРУЖКИ**

**COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF EXISTING AND DEVELOPED TECHNOLOGIES OF SUCROSE EXTRACTION FROM SUGAR BEET COSSETTES**

Городецкий Владимир Олегович  
к.т.н., РИНЦ SPIN-код: 6930-7589

Gorodetsky Vladimir Olegovitch  
Cand.Tech.Sci., RSCI SPIN-code: 6930-7589

Семенихин Семён Олегович  
к.т.н., РИНЦ SPIN-код: 1048-7200

Semenikhin Semen Olegovitch  
Cand.Tech.Sci., RSCI SPIN-code: 1048-7200

Лисовой Вячеслав Витальевич  
к.т.н., РИНЦ SPIN-код: 2676-2856

Lisovoy Vyacheslav Vitalievich  
Cand.Tech.Sci., RSCI SPIN-code: 2676-2856

Котляревская Наталья Ивановна  
РИНЦ SPIN-код: 4396-7630  
*ФГБНУ «Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции», Россия, 350072, г. Краснодар, ул. Тополиная аллея, д.2 [kisp@kubannet.ru](mailto:kisp@kubannet.ru)*

Kotlyarevskaya Natalia Ivanovna  
RSCI SPIN-code: 4396-7630  
*Krasnodar Research Institute of Agricultural Products Storing and Processing, Russia, 350072, Krasnodar, Topolinaya alleya st., 2 [kisp@kubannet.ru](mailto:kisp@kubannet.ru)*

В статье приведена сравнительная характеристика существующей (диффузионной) и разработанной (диффузионно-прессовой) технологий извлечения сахарозы из свекловичной стружки. Приведены графические зависимости влияния величины отбора диффузионного сока на его чистоту и остаточное содержание сахарозы в частично обессахаренной свекловичной стружке, влияния степени прессования частично обессахаренной свекловичной стружки на остаточное содержание сахарозы в прессованном жоме и потери сахарозы с прессованным жомом, а также технологическая схема и режимы диффузионно-прессового извлечения сахарозы из свекловичной стружки. Установлены критерии определения граничных параметров стадий диффузионного и прессового извлечения сахарозы. Приведены сравнительные оценки технологических и экономических показателей существующей и разработанной технологий извлечения сахарозы из свекловичной стружки. Разработанная технология позволяет снизить отбор диффузионного сока при одновременном повышении его чистоты, за счет чего обеспечивает снижение расхода вспомогательных материалов и топливно-энергетических ресурсов, а также повышение выхода сахара. Технология диффузионно-прессового извлечения сахарозы внедрена на 2-х свеклосахарных заводах РФ. Экономический эффект от внедрения составляет более 45 млн. руб

The article presents the comparative characteristics of the current (diffusion) and developed (diffusion-press) sucrose extraction technology from sugar beet cossettes. We have presented the graphs of the influence of raw juice pumping value on its cleanliness and residual content of sucrose in partially desugared beet cossetes, the influence of partially desugared beet cossetes pressing power on residual content of sucrose in the pressed pulp and losses of sucrose with pressed pulp and also the technological scheme and regimes of diffusion-press extraction of sucrose from sugar beet cossettes. The criteria for determining the boundary parameters of diffusion and press sucrose extraction stages are identified. The comparative assessment of technological and economic indicators of the existing and the developed technologies of sucrose extraction from the beet cossettes is shown. The developed technology allows reducing raw juice pumping value simultaneously increasing its purity, thereby providing reduction of auxiliary materials and energy resources consumption, as well as increasing sugar yield. The technology of diffusion-press extraction of sucrose is implemented on 2 sugar beet factories of the Russian Federation. The economic effect from its implementation is more than 45 mln. rubles

Ключевые слова: САХАРНАЯ СВЕКЛА, ИЗВЛЕЧЕНИЕ САХАРОЗЫ, ДИФФУЗИОННЫЙ СОК, ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА,

Keywords: SUGAR BEET, SUCROSE EXTRACTION, RAW JUICE, TECHNOLOGICAL SCHEME, TECHNOLOGICAL REGIMES,

Одним из важнейших процессов в технологии производства сахара является извлечение сахарозы из свекловичной стружки, так как от этого процесса зависят потери сахарозы в жоме, показатели качества диффузионного сока и, в конечном итоге, выход готовой продукции и эффективность работы завода в целом.

Существующий способ диффузионного извлечения сахарозы из свекловичной стружки, предусматривающий её противоточное обессахаривание экстрагентом, в состав которого, кроме природной (барометрической) воды, может входить жомопрессовая и другие категории вод, осуществляется, как правило, до остаточного содержания сахарозы в обессахаренной свекловичной стружке (свежем жоме), равного нормативной или близкой к ней величине.

Существенным недостатком общепринятого диффузионного способа обессахаривания свекловичной стружки является то, что для достижения полноты извлечения сахарозы с соблюдением нормативных ее потерь в частично обессахаренной свекловичной стружке необходим повышенный расход экстрагента, что приводит к увеличению отбора диффузионного сока с неизбежным снижением его чистоты. Установлено, что, чем выше отбор диффузионного сока, тем больше несахаров клеточного сока из свекловичной стружки переходит в диффузионный сок [1]. Увеличение концентрации несахаров в диффузионном соке отрицательно сказывается на результатах последующей известково-углекислотной очистки как по качеству очищенного сока, так и технологических затратах на ее проведение.

На рисунке 1 приведены результаты исследований влияния величины отбора диффузионного сока на его чистоту и остаточное содержание сахарозы в частично обессахаренной свекловичной стружке.

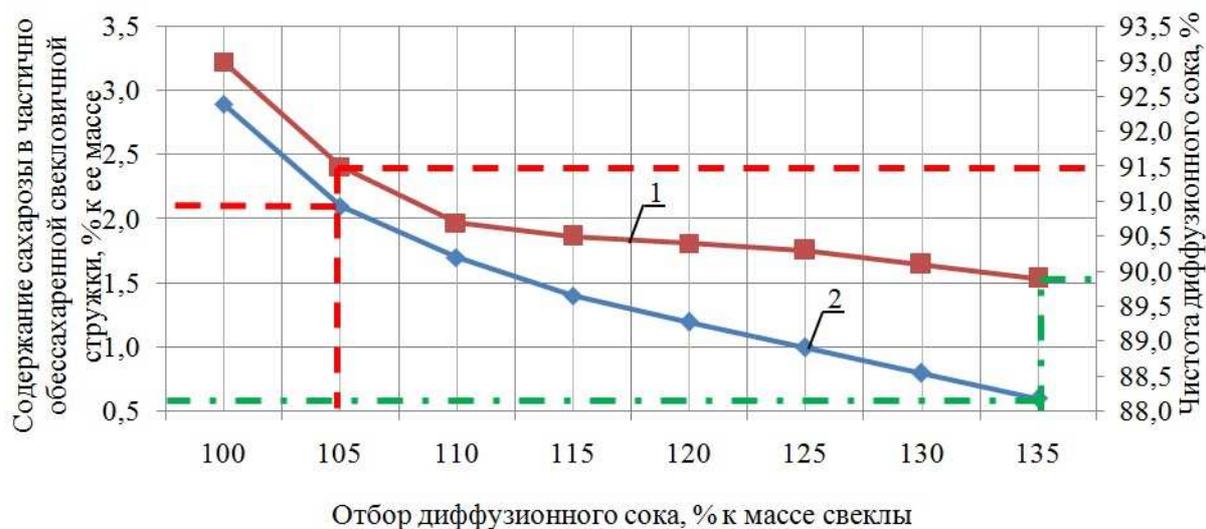


Рисунок 1 – Влияние величины отбора диффузионного сока на его чистоту (1) и остаточное содержание сахаразы в частично обессахаренной свекловичной стружке (2)

Из графических зависимостей видно, что достижение чистоты последних фракций диффузионного сока, равной чистоте клеточного сока (при проведении экспериментов среднее значение чистоты клеточного сока составило 91,4 %), наблюдается при величине отбора около 105 % к массе свеклы, а остаточное содержание сахаразы в частично обессахаренной свекловичной стружке при этом составляет 2,0-2,5 % к её массе. Дальнейшее обессахаривание свекловичной стружки диффузионным способом с соответствующим увеличением отбора диффузионного сока до 135 % и выше, хотя и обеспечивает снижение остаточного содержания сахаразы в частично обессахаренной свекловичной стружке до 0,55 % к её массе, что соответствует нормативным потерям 0,30-0,35 % в пересчете на массу свеклы, однако сопровождается значительным снижением чистоты диффузионного сока (ниже чистоты клеточного сока сахарной свеклы) за счет преобладающего перехода в сок несахаров по сравнению с извлекаемой сахарозой.

При величине отбора диффузионного сока, близкого к 105% к массе свеклы, остаточное содержание сахарозы в частично обессахаренной свекловичной стружке значительно превышает нормативную величину ее потерь. Нормативные потери сахарозы с жомом могут быть достигнуты последующим глубоким прессованием частично обессахаренной свекловичной стружки и возвратом получаемой жомопрессовой воды в составе экстрагента.

С целью определения оптимального предела извлечения сахарозы из частично обессахаренной свекловичной стружки прессованием были выполнены исследования по влиянию степени прессования частично обессахаренной свекловичной стружки на остаточное содержание сахарозы в прессованном жоме и потери сахарозы с прессованным жомом.

Графические зависимости приведены на рисунке 2.

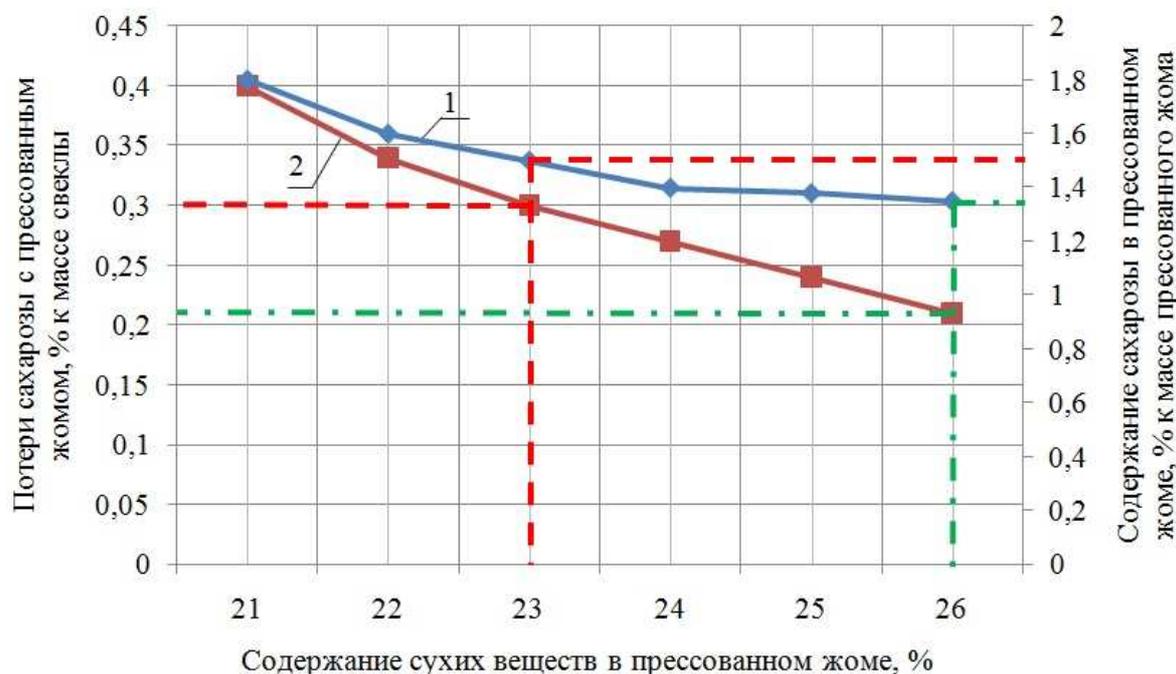


Рисунок 2 – Влияние степени прессования частично обессахаренной свекловичной стружки на остаточное содержание сахарозы в прессованном жоме (1) и потери сахарозы с прессованным жомом (2)

Установлено, что повышение степени прессования жома до содержания сухих веществ 23-26 % и выше позволяет снизить потери

сахарозы с прессованным свекловичным жомом ниже нормативных (0,30-0,35 % к массе свеклы). Рассматривая жомопрессовую воду как часть диффузионного сока, получаемого на последней стадии обессахаривания свекловичной стружки, можно утверждать, что чистота жомопрессовой воды должна быть не ниже чистоты клеточного сока свекловичной стружки, что свидетельствует о том, что возврат жомопрессовой воды после прессового доизвлечения сахарозы не приводит к снижению чистоты диффузионного сока.

На основании комплекса проведенных исследований установлено, что технологический процесс извлечения сахарозы из свекловичной стружки рационально осуществлять в две стадии:

- извлечение основной массы сахарозы диффузионным способом (экстракцией) с получением минимального количества диффузионного сока (отбора) с максимальной его чистотой;

- доизвлечение сахарозы глубоким прессованием частично обессахаренной свекловичной стружки с достижением нормативного содержания сахарозы в прессованном жоме в пересчете к массе свекловичной стружки.

На рисунке 3 приведена технологическая схема диффузионно-прессового извлечения сахарозы из свекловичной стружки [3, 4].

Известно, что по общепринятому способу подача экстрагента, состоящего из жомопрессовой и свежей воды, в диффузионный аппарат осуществляется отдельно. Однако, такой способ приводит к нарушению гидродинамического режима в диффузионном аппарате и создает условия для нежелательного процесса – обратного перехода сахарозы из экстрагента в обессахаренную свекловичную стружку. Для исключения указанных негативных эффектов и снижения аппаратуремкости нами предложен совместный способ подачи жомопрессовой и свежей

(внутризаводской) воды в диффузионный аппарат для обессахаривания свекловичной стружки, как показано на рисунке 3.

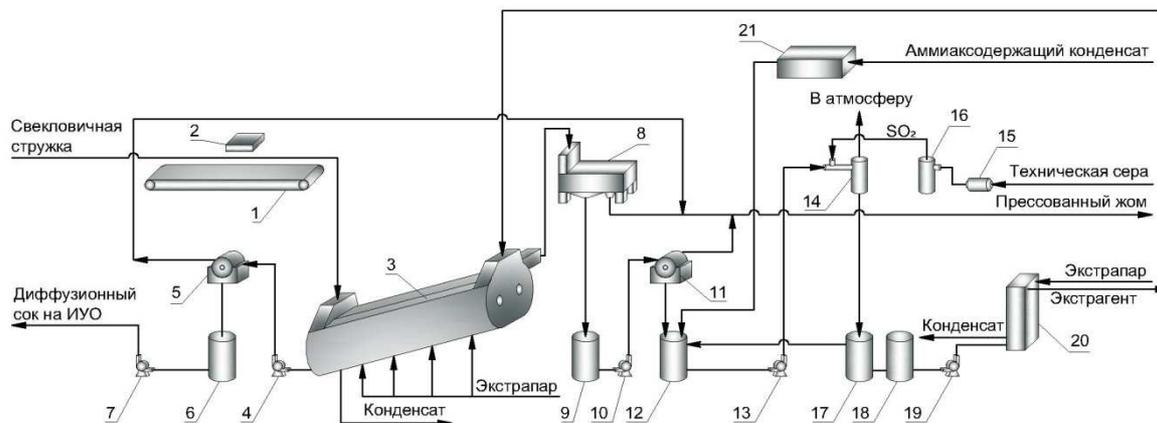


Рисунок 3 – Технологическая схема диффузионно-прессового извлечения сахарозы из свекловичной стружки: 1 - ленточный транспортер свекловичной стружки; 2 - магнитный сепаратор; 3 - диффузионный аппарат; 4 - насос отбора диффузионного сока; 5 - пульполовушка диффузионного сока; 6 - сборник диффузионного сока; 7 - насос подачи диффузионного сока на известково-углекислотную очистку; 8 - жомовый пресс; 9 - сборник жомопрессовой воды; 10 - насос жомопрессовой воды; 11 - пульполовушка жомопрессовой воды; 12 - сборник необработанного экстрагента; 13 - насос необработанного экстрагента; 14 - сульфитационная установка; 15 - серосжигательная печь; 16 - циклон-дожигатель; 17 - буферный сборник сульфитированного экстрагента; 18 - сборник сульфитированного экстрагента; 19 - насос сульфитированного экстрагента; 20 - пластинчатый теплообменник сульфитированного экстрагента; 21 - деаммонизатор

Следует отметить, что для обеспечения стабильности качества экстрагента предусмотрен контур рециркуляции сульфитированного экстрагента, обеспечивающий буферность и эффективность регулирования значения рН. Также полностью исключена из состава экстрагента барометрическая вода, которая поступает на завод из открытых водоемов, что обуславливает ее зараженность микроорганизмами (бактериями, дрожжами, плесневыми грибами), повышающими неучтенные потери сахарозы на диффузии, и обладает повышенным содержанием различных неорганических и органических соединений, что обуславливает ее

повышенную жесткость и затрудняет проведение всех технологических процессов, а также приводит к увеличению выхода мелассы и содержания сахарозы в ней.

В таблице 1 приведены разработанные технологические режимы диффузионно-прессового извлечения сахарозы из свекловичной стружки.

Таблица 1 – Разработанные технологические режимы диффузионно-прессового извлечения сахарозы из свекловичной стружки

Наименование технологической стадии и технологического режима	Значение технологического режима
1 Подготовка экстрагента: состав экстрагента	жомопрессовая вода, свежая вода
соотношение жомопрессовой и свежей воды в экстрагенте	в зависимости от степени прессования жома
значение pH	5,2 – 5,5
количество рециркулирующего сульфитированного экстрагента, % к общему количеству экстрагента	30 - 50
2 Диффузионное извлечение сахарозы: отбор диффузионного сока, % к массе свеклы	105 - 110
температура по зонам диффузионного аппарата, °С:	
I зона	68 - 72
II зона	72 - 74
III зона	72 - 74
IV зона	65 - 68
длительность процесса, мин	65 - 70
содержание сахарозы в частично обессахаренной свекловичной стружке, % к массе свеклы	2,0 – 2,5
3 Прессовое извлечение сахарозы: температура прессования, °С	60 - 65
содержание сухих веществ в прессованном жоме, %	23 – 26
содержание сахарозы в прессованном жоме, % к массе свеклы	менее 0,35

В таблице 2 приведена сравнительная оценка технологических показателей существующей и разработанной технологий извлечения сахарозы из свекловичной стружки.

Таблица 2 – Сравнительная оценка технологических показателей существующей и разработанной технологий извлечения сахарозы из свекловичной стружки

Наименование показателя	Значение показателя	Значение показателя
	Существующая технология	Разработанная технология
Средний отбор диффузионного сока, % к массе свеклы	125,00	110,00
Средняя чистота диффузионного сока, %	88,10	89,20
Увеличение выхода сахара-песка за счет увеличения чистоты диффузионного сока, % к массе свеклы	-	0,11
Расход известнякового камня для получения известкового молока, % к массе свеклы	5,52	4,93
Расход известкового молока на очистку диффузионного сока, % СаО к массе свеклы	2,08	1,85
Расход коксующегося угля для обжига известнякового камня, % к массе свеклы	0,55	0,49
Расход ретурного пара на сгущение очищенного сока, % к массе свеклы	36,86	32,44
Количество выпариваемой воды, % к массе свеклы	95,83	84,33
Расход условного топлива, % к массе свеклы	4,98	4,38

Как видно из приведенных данных, величина отбора диффузионного сока снижается на 15 % при одновременном повышении его чистоты на 1,1 %. За счет снижения отбора диффузионного сока уменьшается количество выпариваемой воды, что позволяет снизить расход условного топлива на выпарной станции, а пропорционально повышению чистоты диффузионного сока снижается расход вспомогательных материалов на проведение известково-углекислотной очистки. Кроме того, как известно, повышение чистоты диффузионного сока на 1 % увеличивает выход сахара на 0,1 % к массе свеклы, что в масштабах сезона переработки сахарной свеклы является достаточно значительной величиной [2].

В таблице 3 приведена сравнительная оценка расчетных экономических показателей существующей и разработанной технологий извлечения сахарозы из свекловичной стружки.

Таблица 3 – Сравнительная оценка расчетных экономических показателей существующей и разработанной технологий извлечения сахарозы из свекловичной стружки

Наименование показателя	Значение показателя	
	Существующая технология	Разработанная технология
Прибыль от дополнительно выработанного сахара-песка на 1000 тонн переработанной сахарной свеклы, руб.	-	44000
Стоимость вспомогательных материалов на переработку 1000 тонн сахарной свеклы, руб.:		
известнякового камня на получение известкового молока	60720	54230
коксуемого угля на обжиг известнякового камня	40150	35770
природного газа	298800	262800
Итого на 1000 тонн переработанной сахарной свеклы, руб.	399670	352800
Суммарный экономический эффект, руб.:		
на 1000 тонн переработанной сахарной свеклы	-	90870
при переработке 500000 тонн сахарной свеклы	-	45435000

На основании приведенных технико-экономических показателей рассчитан суммарный экономический эффект от внедрения разработанной технологии, который составляет более 45 миллионов рублей при среднем объеме перерабатываемого сырья сахарным заводом за один производственный сезон 500 тысяч тонн сахарной свеклы.

В результате проведенного комплекса теоретических и экспериментальных исследований разработана высокоэффективная ресурсо- и энергосберегающая технология извлечения сахарозы из свекловичной стружки, позволяющая:

- снизить отбор диффузионного сока на 10-15 % к массе свеклы;
- повысить чистоту диффузионного сока на 1,0-1,2 %;
- сократить расход условного топлива на стадии сгущения очищенного сока до сиропа на 0,4-0,6 % к массе свеклы, известнякового

камня на 0,55-0,65 % к массе свеклы и топлива на его обжиг на 0,055-0,065 % к массе свеклы;

– увеличить выход готовой продукции на 0,10-0,12 % к массе свеклы.

Экономический эффект от внедрения в производство разработанной технологии при объеме перерабатываемого сырья сахарным заводом средней мощности около 500 тыс. т составляет более 45 млн. руб. Технология диффузионно-прессового извлечения сахарозы из свекловичной стружки внедрена в производство на ООО "Балашовский сахарный комбинат" (Саратовская обл.) и ОАО АПК "Аврора (подразделение Боринский сахарный завод)" (Липецкая обл.).

#### Литература

1. Сапронов, А.Р. Технология сахарного производства [Текст] / А.Р. Сапронов – М. : Колос, 1998. – 495 с.
2. Бугаенко, И.Ф. Повышение эффективности свеклосахарного производства [Текст] / И.Ф. Бугаенко. – М.: Издательство МГУПП, 2000 г. – 180 с.
3. Пат. № 2504587 Российская Федерация. Способ диффузионно–прессового извлечения сахарозы из свекловичной стружки [Текст] / Ю.И. Молотилин, В.О. Городецкий, Н.М. Даишева, С.О. Семенихин; заявл. 18.01.2012 г.; опубл. 20.01.2014 г.
4. Пат. № 124680 Российская Федерация. Установка для сульфитации жидкостей сахарного производства [Текст] / Ю.И. Молотилин, В.О. Городецкий; заявл. 12.10.2011 г.; опубл. 10.02.2013 г.

#### References

1. Sapronov, A.R. Tehnologija saharnogo proizvodstva [Tekst] / A.R. Sapronov – M. : Kolos, 1998. – 495 s.
2. Bugaenko, I.F. Povyshenie jeffektivnosti sveklosaharnogo proizvodstva [Tekst] / I.F. Bugaenko. – M.: Izdatel'stvo MGUPP, 2000 g. – 180 s.
3. Pat. № 2504587 Rossijskaja Federacija. Sposob diffuzionno–pressovogo izvlechenija saharozy iz sveklovichnoj struzhki [Tekst] / Ju.I. Molotilin, V.O. Gorodeckij, N.M. Daisheva, S.O. Semehihin; zajavl. 18.01.2012 g.; opubl. 20.01.2014 g.
4. Pat. № 124680 Rossijskaja Federacija. Ustanovka dlja sul'fitacii zhidkostej saharnogo proizvodstva [Tekst] / Ju.I. Molotilin, V.O. Gorodeckij; zajavl. 12.10.2011 g.; opubl. 10.02.2013 g.