

**Городецкий В.О., Семенихин С.О., Люсий И.Н., Даишева Н.М.  
ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ПОДГОТОВКИ ЭКСТРАГЕНТА  
НА МОДУЛЬ УПРУГОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕССОВАНИЯ  
ОБЕССАХАРЕННОЙ СВЕКЛОВИЧНОЙ СТРУЖКИ**

Городецкий Владимир Олегович, кандидат технических наук, заведующий отделом технологии сахара и сахаристых продуктов

КНИИХП – филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ, Краснодар, Россия

E-mail: [gorodecky\\_v\\_o@mail.ru](mailto:gorodecky_v_o@mail.ru)

Семенихин Семен Олегович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела технологии сахара и сахаристых продуктов

КНИИХП – филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ, Краснодар, Россия

E-mail: [semenikhin\\_s\\_o@mail.ru](mailto:semenikhin_s_o@mail.ru)

Люсий Игорь Николаевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела технологии сахара и сахаристых продуктов

КНИИХП – филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ, Краснодар, Россия

E-mail: [lyciy\\_i\\_n@mail.ru](mailto:lyciy_i_n@mail.ru)

Даишева Наиля Мидхатовна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела технологии сахара и сахаристых продуктов

КНИИХП – филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ, Краснодар, Россия

E-mail: [daisheva\\_n\\_m@mail.ru](mailto:daisheva_n_m@mail.ru)

*Реологические свойства свекловичной стружки являются одним из главных факторов, определяющих эффективность ее диффузионного обессахаривания и последующего прессования. В статье приведены результаты исследований, направленных на сравнение трех наиболее распространенных в промышленности способов обработки экстрагента с точки зрения их влияния на реологические свойства свекловичной стружки. Показано, что в результате десятиминутного сжатия давлением 0,16 кгс/см<sup>2</sup> и последующей десятиминутной релаксации деформация обессахаренной стружки после обработки экстрагентом с использованием серной кислоты составила 32,11 % и 19,68 %, соответственно, стружки после обработки экстрагентом с использованием серной кислоты в смеси со свежеприготовленным гипсом – 34,08 % и 23,05 %, а стружки после обработки экстрагентом с использованием сернистого ангидрида – 36,81 % и 25,25 %. На основании полученных данных были рассчитаны модули упругости, которые составили 79,72 КПа, 68,07 КПа и 62,15 КПа соответственно. В производственных условиях прирост содержания сухих веществ в прессованном жоме при обработке экстрагентом с использованием сернистого ангидрида может составить около 3,30 %, а при обработке экстрагента серной кислотой в смеси со свежеприготовленным гипсом около 2,87 %, по сравнению с обработкой экстрагента серной кислотой, за счет достижения оптимальных реологических свойств обессахаренной свекловичной стружки.*

**Ключевые слова:** модуль упругости, обессахаренная свекловичная стружка, сернистый ангидрид, серная кислота, гипс.

**Для цитирования:** Городецкий В.О., Семенихин С.О., Люсий И.Н., Даишева Н.М. Влияние способов подготовки экстрагента на модуль упругости и эффективность прессования обессахаренной свекловичной стружки // Новые технологии. 2019. Вып. 2 (48). С. 37-45. DOI: 10.24411/2072-0920-2019-10204.

**Gorodetsky V.O., Semenixhin S.O., Lyciy I.N., Daisheva N.M.**  
**THE INFLUENCE OF EXTRAGENT PREPARATION METHODS**  
**ON THE ELASTICITY MODULUS AND EFFICIENCY**  
**OF PRESSING SPENT BEET CHIPS**

Gorodetsky Vladimir Olegovich, Candidate of Technical Sciences, head of the Department of Sugar Technology and Sugar Products

KSRISPAP – a branch of FSBSI NCFSCHVE, Krasnodar, Russia

E-mail: gorodecky\_v\_o@mail.ru

Semenikhin Semyon Olegovich, Candidate of Technical Sciences, a senior researcher, Department of Sugar Technology and Sugar Products

KSRISPAP – a branch of FSBSI NCFSCHVE, Krasnodar, Russia

E-mail: semenikhin\_s\_o@mail.ru

Lyuciy Igor Nikolayevich, Candidate of Technical Sciences, a senior researcher, Department of Sugar Technology and Sugar Products

KSRISPAP – a branch of FSBSI NCFSCHVE, Krasnodar, Russia

E-mail: lyciy\_i\_n@mail.ru

Daisheva Nailya Midkhatovna, Candidate of Technical Sciences, a senior researcher of the Department of Sugar Technology and Sugar Products

KSRISPAP – a branch of FSBSI NCFSCHVE, Krasnodar, Russia

E-mail: daisheva\_n\_m@mail.ru

*Rheological properties of beet chips are one of the main factors determining the effectiveness of its diffusion desugarization and subsequent pressing. The article presents the results of studies aimed at comparing the three most widely used industrial methods of extragent processing in terms of their influence on rheological properties of beet chips.*

*It has been shown that distortion of sugared chips after ten-minute compression with a pressure of 0.16  $\text{kp/cm}^2$  and a subsequent ten-minute relaxation after treatment with an extractant using sulfuric acid makes up 32.11% and 19.68% respectively, distortion of chips after processing with an extractant using sulfuric acid in mixtures with freshly prepared gypsum makes up 34.08% and 23.05%, and distortion of chips after treatment with an extractant using sulfuric anhydride – 36.81% and 25.25%. On the basis of the obtained data, the elastic moduli were calculated, which made up 79,72 kPa, 68.07 kPa and 62.15 kPa, respectively. Under production conditions, an increase in the content of dry substances in the pressed pulp can be about 3.30% when processed with an extractant using sulfuric anhydride, and about 2.87% when treated with an extractant with sulfuric acid in a mixture with freshly prepared gypsum through the achievement of optimal rheological properties of spent beet chips.*

**Key words:** elasticity modulus, spent beet chips, sulfur dioxide, sulfuric acid, gypsum.

**For citation:** Gorodetsky V.O., Semenikhin S.O., Lyuciy I.N., Daisheva N.M. The influence of extragent preparation methods on the elastic modulus and efficiency of pressing spent beet chips // *Novye tehnologii (Majkop)*. 2019. Iss. 2(48). P. 37-45. DOI: 10.24411/2072-0920-2019-10204.

Как уже отмечалось ранее, реологические свойства свекловичной стружки являются одним из критических показателей, определяющих качество диффузионного сока [1]. В связи с повсеместным применением в современной технологии прессов глубокого прессования, обеспечивающих содержание сухих веществ в прессованном жоме 24 % и выше, в производстве появилось большое количество внутризаводского водного источника – жомопрессовой воды [2]. Изначально внедрение прессов глубокого прессования было направлено на экономию топливных ресурсов для высушивания жома. Однако, в ходе их эксплуатации была выявлена зависимость между степенью прессования и количеством жомопрессовой воды, ввиду чего, реологическим свойствам свекловичной стружки следует уделять повышенное внимание, так как они являются одним из главных факторов, определяющих эффективность прессования. Следует также отметить, что применение прессов глубокого прессования предопределило переход на двухстадийное обессахаривание свекловичной стружки [3, 4].

Кроме обеспечения максимально возможной степени прессования обессахаренной свекловичной стружки реологические свойства свекловичной стружки важны для обеспечения оптимального гидродинамического режима в диффузионном аппарате и равномерного извлечения сахарозы из свекловичной стружки.

Известно, что придание свекловичной стружке оптимальных реологических свойств обеспечивает более эффективное ее обессахаривание при достаточной степени последующего прессования. Наиболее полное извлечение сахарозы из свекловичной стружки диффузионно-прессовым способом может быть достигнуто только в том случае, когда свекловичная ткань имеет оптимальные реологические свойства [5].

Одним из основных показателей, характеризующих реологические свойства свекловичной стружки, является модуль упругости (модуль Юнга) – физическая величина, характеризующая способность материала сопротивляться растяжению или сжатию при упругой деформации. В сокостружечной смеси, в которой свекловичная стружка обладает высоким модулем упругости, наличие воздушных пустот или застойных соковых зон будет минимально, за счет чего в диффузионном аппарате будет обеспечиваться равномерность извлечения сахарозы. Однако, чрезмерно высокий модуль упругости препятствует сжатию, ввиду чего, степень прессования такой стружки будет меньше [6].

Для достижения оптимальной величины модуля упругости необходимо поддерживать оптимальное значение реакции среды в диффузионном аппарате, так как известно, что, чем ниже рН, тем выше упругость свекловичной ткани [6]. Однако, значения рН ниже 5,0 единиц способствуют повышенным потерям сахарозы. Также, для достижения высокой упругости свекловичной ткани в промышленности используют химическое воздействие на стружку различными реагентами, а именно, реагентами, содержащими ионы двух- и трехвалентных металлов, встраивающиеся в целлюлозно-пектиновую решетку клеточной стенки [7].

На сегодняшний день наиболее распространенными в свеклосахарной промышленности России способами подготовки экстрагента являются три – обработка сернистым ангидридом, обработка серной кислотой и обработка серной кислотой в смеси со свежеприготовленным гипсом [8].

Для выявления влияния наиболее распространенных способов подготовки экстрагента на реологические свойства свекловичной стружки в лабораторных условиях была проведена серия исследований.

Образцы корнеплодов сахарной свеклы, выращенных в Краснодарском крае, изрезали в стружку, после чего проводили ее сортировку для получения значения «шведского» фактора выше 10 единиц.

Параллельно готовили три образца экстрагента для диффузионного процесса различными способами, но до одинаковой реакции среды – до значения рН 5,2-5,5 с температурой 70-72°C. Первый образец представлял собой обработанную сернистым ангидридом воду, второй образец – обработанную серной кислотой воду, а третий – воду, обработанную кислотой и содержащую свежеприготовленный гипс в количестве 3 % к массе свекловичной стружки.

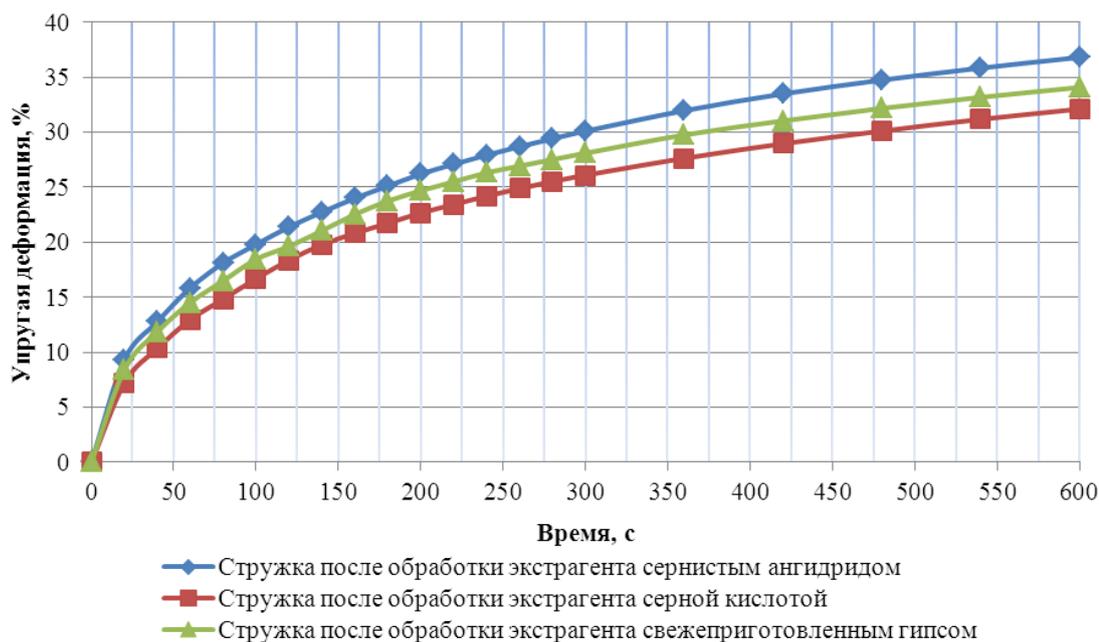
Далее проводили обессахаривание свекловичной стружки в диффузорах на водяной бане при температуре 72-74°C в течение 30 минут. После этого полученный диффузионный сок сливали и снова обрабатывали стружку экстрагентом в течение 30 минут. Гидромуль при проведении 1 часа диффузии составил 1 (единицу).

После окончания обессахаривания стружки жом помещали на фильтровальную бумагу для удаления поверхностной влаги и охлаждения исследуемых образцов до температуры 20-25°C.

После достижения образцами обессахаренной свекловичной стружки одинаковой температуры проводили серию экспериментов по определению упругой деформации.

Вначале проводили прессование навески стружки массой 25 г при давлении 0,16 кгс/см<sup>2</sup> в течение 10 минут, а затем снимали нагрузку на 10 минут. Контролировали величину упругой деформации каждые 20 секунд с 0 по 5-ю минуту эксперимента и каждые 60 секунд с 6-й по 10-ю минуту. После снятия нагрузки контролировали величину деформации каждые 60 секунд.

Графическая зависимость упругой деформации навески обессахаренной стружки от способа ее обработки при давлении 0,16 кгс/см<sup>2</sup> с течением времени представлена на рисунке 1.

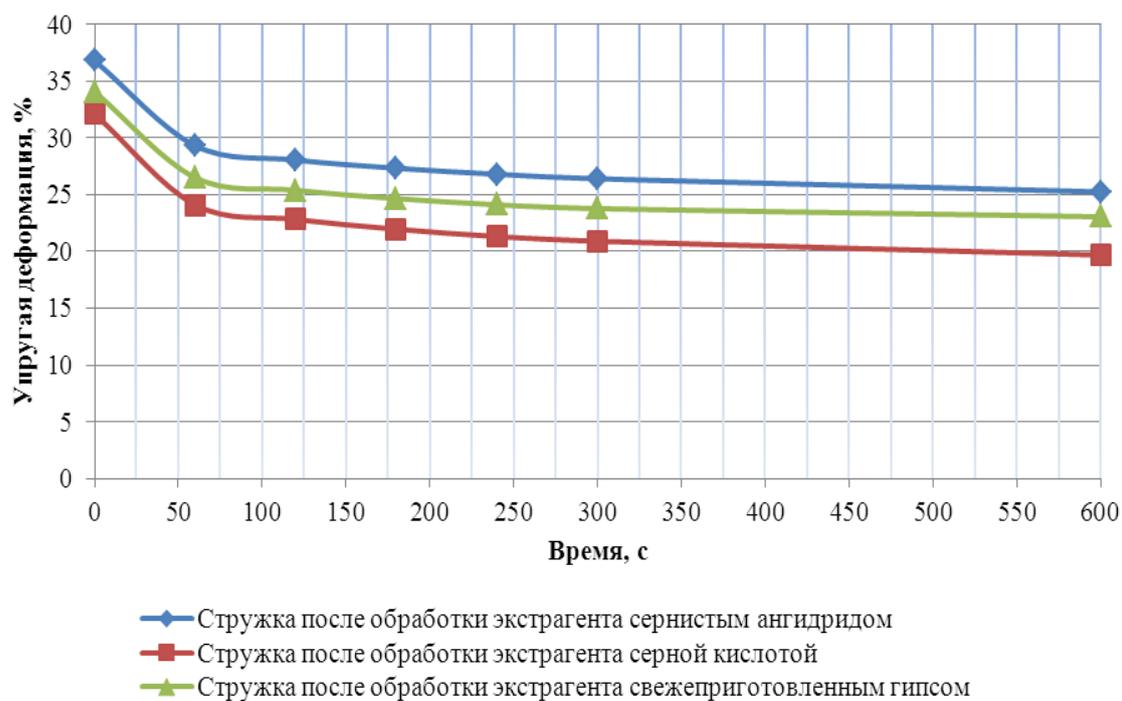


**Рис. 1.** Деформация навески обессахаренной свекловичной стружки при давлении 0,16 кгс/см<sup>2</sup> с течением времени

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что обессахаренная свекловичная стружка, полученная при использовании обработанного серной кислотой экстрагента, деформируется в меньшей степени. Так, после 10-минутного прессования деформация стружки после обработки экстрагента серной кислотой составила 32,11 %, стружки после обработки экстрагента серной кислотой и свежеприготовленным гипсом – 34,08 %, а стружки после обработки экстрагента сернистым ангидридом – 36,81 %.

Графическая зависимость упругой деформации навески обессахаренной стружки после снятия нагрузки при давлении 0,16 кгс/см<sup>2</sup> с течением времени представлена на рисунке 2.

На графической зависимости видно, что после снятия нагрузки менее всего к исходному состоянию вернулась обессахаренная свекловичная стружка после обработки экстрагента сернистым ангидридом – деформация составила 25,25 %, далее стружка после обработки экстрагентасерной кислотой со свежеприготовленным гипсом – 23,05 % и стружка после обработки экстрагента серной кислотой – 19,68 %.



**Рис. 2.** Упругая деформация навески обессахаренной свекловичной стружки при снятии давления 0,16 кгс/см<sup>2</sup> с течением времени

Для расчета модуля упругости обессахаренной свекловичной стружки использовали формулу Юнга:

$$E = \frac{F/S}{\Delta l/l} = \frac{F \times l}{S \times \Delta l},$$

где  $F$  – нормальная составляющая силы, кгс/см<sup>2</sup>;  $S$  – площадь поверхности, по которой распределено действие силы, см<sup>2</sup>;  $l$  – длина (высота) деформируемого вещества, см;  $\Delta l$  – изменение длины (высоты) вещества продукта в результате упругой деформации, см.

Необходимо отметить, что в проведенных нами расчетах отношение величины нормальной составляющей силы к величине площади поверхности, по которой распределено действие силы, является величиной постоянной и составляет 0,16 кгс/см<sup>2</sup>.

В результате проведенных расчетов и последующего их усреднения установлено, что наибольшим модулем упругости обладает обессахаренная стружка после обработки экстрагента серной кислотой – 79,72 КПа, далее следует стружка после обработки экстрагента серной кислотой со свежеприготовленным гипсом – 68,07 КПа и наименьший модуль упругости у стружки после обработки экстрагента сернистым ангидридом – 62,15 КПа.

Расчетные величины значений модулей упругости жома, полученного при обработке свекловичной стружки экстрагентами, подготовленными различными способами, обусловили продолжение лабораторных исследований по выявлению зависимости содержания сухих веществ в прессованном жоме от способа подготовки экстрагента.

При проведении экспериментов давление на образцы обессахаренной свекловичной стружки составило 45,25 кгс/см<sup>2</sup>, что примерно соответствует давлению, создаваемому жомовыми прессами в производственных условиях.

В таблице 1 приведены данные по влиянию способа подготовки экстрагента на содержание сухих веществ в прессованном жоме при давлении прессования 45,25 кгс/см<sup>2</sup>.

Из полученных данных следует, что наибольшая концентрация сухих веществ в пробах прессованного свекловичного жома получена при использовании экстрагента, обработанного сернистым ангидридом, придающего тканям обессахаренной свекловичной стружки высокую способность к прессованию – 17,99 %. Способ подготовки экстрагента путем обработки его серной кислотой со свежеприготовленным гипсом также обеспечивает увеличение содержания сухих веществ в прессованном жоме – до 17,56 %, однако менее эффективен и требует большего расхода вспомогательных материалов.

Увеличение содержания сухих веществ в прессованном жоме при обработке экстрагента сернистым ангидридом составило 3,3 % абсолютных, по сравнению со способом обработки экстрагента серной кислотой, что обеспечит пропорциональное снижение расхода условного топлива на высушивание прессованного жома, которого требуется, в зависимости от конструкции жомосушильного барабана, 230-250 м<sup>3</sup>/т жома. На сегодняшний день стоимость 1000 м<sup>3</sup> природного газа достигает 6,5-7,0 тыс. рублей без НДС, а учитывая, что количество прессованного жома при грубом расчете составляет 15-17 % от количества перерабатываемой сахарной свеклы (в среднем 0,5 млн. т для одного завода), экономическая эффективность способа подготовки экстрагента сернистым ангидридом, по сравнению с обработкой серной кислотой и добавлением свежеприготовленного гипса, не вызывает сомнений.

Таблица 1 - Влияние способа подготовки экстрагента на содержание сухих веществ в прессованном жоме

Наименование показателя	Значение показателя		
	Жом, полученный при использовании экстрагента, обработанного сернистым ангидридом	Жом, полученный при использовании экстрагента, обработанного серной кислотой	Жом, полученный при использовании экстрагента, обработанного серной кислотой со свежеприготовленным гипсом
Содержание сухих веществ в прессованном жоме, %:			
Серия 1	19,10	14,48	18,30
Серия 2	19,49	14,65	17,36
Серия 3	18,29	14,36	18,40
Серия 4	16,50	15,42	16,95
Серия 5	16,56	14,53	16,78
Среднее	17,99	14,69	17,56
Прирост сухих веществ в прессованном жоме, % (абсолютных)	3,30	–	2,87

### *Литература:*

1. Исследование влияния способов подготовки экстрагента на физико-химические свойства обессахаренной свекловичной стружки / С.О. Семенихин, Н.М. Даишева, Н.И. Котляревская, М.М. Усманов // Новые технологии, 2019. №1. С 162-170.
2. Возврат жомопрессовой воды – способ повышения эффективности получения, очистки и сгущения диффузионного сока / Ю.И. Молотилин, В.О. Городецкий, Н.М. Даишева, С.О. Семенихин // Известия ВУЗов. Пищевая технология, 2014. №1. С. 94-97.
3. Диффузионно-прессовое извлечение сахарозы – совершенствование получения и очистки диффузионного сока / Молотилин Ю.И. [и др.] // Сахар. 2014. №5. С. 42-44.
4. Сравнительная характеристика существующей и разработанной технологий извлечения сахарозы из свекловичной стружки [Электронный ресурс] / В.О. Городецкий, С.О. Семенихин, В.В. Лисовой, Н.И. Котляревская // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ), 2016. №121 (07). Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/07/pdf/31.pdf> (Дата обращения 02.04.2019 г.)
5. Бугаенко И.Ф., Тужилкин В.И. Общая технология отрасли: Научные основы технологии сахара: учебник для студентов вузов. Часть I. Санкт-Петербург: ГИОРД, 2007. 512 с.
6. Факторы, влияющие на эффективность прессования свекловичного жома / В.О. Городецкий, Р.С. Решетова, С.О. Семенихин, Н.И. Котляревская // Научные труды КубГТУ. 2018. №4. С. 10-16.
7. Семенихин С.О., Городецкий В.О. Влияние кальцийсодержащих реагентов на физико-механические свойства свекловичной стружки, жома и качество диффузионного сока // Наука Кубани. 2015. №1. С. 32-38.
8. Городецкий В.О., Семенихин С.О., Котляревская Н.И. Особенности технологических схем подготовки экстрагента диффузионного процесса свеклосахарного производства // Сборник научных трудов ФГБНУ СКФНЦСВВ. 2018. №20. С. 51-56.

### *Literature:*

1. Research of extractant preparation methods influence on physicochemical properties of spent beet chips [Tekst] / S.O. Semenihin, N.M. Daisheva, N.I. Kotlyarevskaya, M.M. Usmanov // New Technologies, 2019. №1. P. 162-170.
2. Backset of pulp press water – a method of improving the efficiency of obtaining, peeling and thickening of diffusion juice / Y.I. Molotilin, V.O. Gorodetskiy, N.M. Daisheva, S.O. Semenihin // Proceedings of universities. Food Technology, 2014. №1. P. 94-97.
3. Diffusion-press extraction of sucrose – improvement of raw juice obtaining and purification / Molotilin Y.I. [et al.] // Sahar, 2014. №5. P. 42-44.
4. Comparative characteristics of existing and developed technologies of sucrose extraction from sugar beet chips [Electronic resource] / V.O. Gorodetskiy, S.O. Semenihin, V.V. Lisovoy, N.I. Kotlyarevskaya// Polythematic network electronic scientific journal of Kuban state agrarian university (Scientific journal of KubSAU), 2016. №121 (07). Access mode: <http://ej.kubagro.ru/2016/07/pdf/31.pdf> (Date of access: 02.04.2019)

5. Bugaenko I.F. General technology of the industry: Scientific fundamentals of sugar technology: a textbook for university students. Part 1. Saint Petersburg: GIORD, 2007. 512 p.

6. Factors affecting the performance of beet pulp pressing / V.O. Gorodetskiy, R.S. Reshetova, S.O. Semenikhin, V.V. Lisovoy, N.I. Kotlyarevskaya // Scientific works of KubSTU, 2018. №4. P. 10-16.

7. Semenihin S.O., Gorodetskiy V.O. Influence of calcium-containing reagents on physical and mechanical properties of sugar beet chips, beet pulp and quality of raw juice [// Science of Kuban, 2015. №1. P. 32-38.

8. Gorodetskiy V.O., Semenikhin S.O., Kotlyarevskaya N.I. Features of technological schemes of diffusion process extragent preparation for sugar beet processing // Collection of scientific works of FSBSI NCF SCHVE, 2018. №20. P.51-56.