

**В. Я. Прушак<sup>1</sup>, Н. Ю. Кондратчик<sup>2</sup>, Н. А. Высоцкая<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством»

<sup>2</sup>Барановичский государственный университет

**РАЗРАБОТКА НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ  
ПО УВЕЛИЧЕНИЮ ВЫПУСКА ГРАНУЛИРОВАННОГО ХЛОРИДА КАЛИЯ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ ВАЛКОВЫХ ПРЕССОВ,  
ИЗГОТАВЛИВАЕМЫХ В ЗАО «СОЛИГОРСКИЙ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ С ОПЫТНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ»**

ОАО «Беларуськалий» успешно выполняет масштабную инвестиционную программу по модернизации, реконструкции и строительству новых объектов производства. Для реализации намеченной программы предусматривается максимально эффективное использование минерального сырья, производство высококачественной конкурентоспособной продукции и расширение ее ассортимента, создание и освоение нового высокотехнологичного производства, сохранение достигнутых позиций на внешнем рынке.

Гранулирование улучшает физические и агрохимические свойства KCl: он не пылит при перегрузке, меньше слеживается, легко рассеивается и лучше усваивается растениями. Благодаря этому гранулированный KCl можно хранить и перевозить навалом, без упаковки и вносить в почву туковыми сеялками, что снижает расходы на перевозку и внесение его в почву.

В рамках технического перевооружения в отделениях грануляции вместо изношенных валц-прессов фирмы «Цемаг-Цайтц» установлены высокопроизводительные прессы ПВП 1000×650 МУ. Замена прессов позволила увеличить объем производства гранулированных удобрений с 60 до 80% за 2016–2018 гг.

Основными и самыми быстро изнашивающимися элементами валкового пресса являются валки с формующими элементами на рабочих поверхностях. Предложенное исполнение формующих элементов в виде непрерывных круговых пазов с вогнутым дугообразным профилем помимо экономического эффекта способствует лучшему захвату прессуемого материала и более равномерному его распределению по ширине валка, улучшает отделение спрессованного материала от валков. Выполнение формующих элементов переменной глубины с учетом распределения прессуемого материала по ширине валков приводит к повышению плотности конечного продукта и уменьшению объема просыпи.

**Ключевые слова:** гранулирование, хлористый калий, валки, пресс, бандаж.

**V. Ya. Prushak<sup>1</sup>, N. Yu. Kondratchik<sup>2</sup>, N. A. Vysotskaya<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>JSC “Soligorsk Institute of Resources Saving Problems with Pilot Production”

<sup>2</sup>Baranovichi State University

**DEVELOPMENT OF NEW TECHNICAL SOLUTIONS TO INCREASE  
PRODUCTION OF GRANULATED POTASSIUM CHLORIDE  
WITH APPLICATION OF ROLL COMPACTORS MANUFACTURED  
BY JSC “SOLIGORSK INSTITUTE OF RESOURCES SAVING PROBLEMS  
WITH PILOT PRODUCTION”**

JSC “Belaruskali” successfully implements a large-scale investment program for the modernization, construction and reconstruction of new production facilities. To implement the planned program, the most efficient use of mineral raw materials, the production of high-quality competitive products and the expansion of its assortment, the creation and development of a new high-technology production, and the maintenance of achieved positions in the foreign market were provided.

Granulation improves the physical and agrochemical properties of KCl: it does not dust during overload, less cakes, easily disperses and is better absorbed by plants. Due to this, granular KCl can be stored and transported in bulk, without packaging and applied to the soil with fertilizer seeders, which reduces the cost of transportation and its introduction into the soil.

As part of the technical re-equipment in the granulation departments, instead of the worn-out roller presses of the “Zemag-Zeitz” company, high-performance PVP 1000×650 MU compactors were installed. Replacement of the equipment allowed to increase the volume of the production of granular fertilizers from 60 to 80% in the period 2016–2018.

The main and most rapidly wearing elements of the roller press are rollers with forming elements on the working surfaces. The proposed implementation of the forming elements in the form of continuous circular grooves with a concave arch profile in addition to the economic effect contributes to a bet-

ter grip of the pressed material and its more uniform distribution along the width of the roller, improves separation of the pressed material from the rollers. The implementation of the forming elements of variable depth, taking into account the distribution of the pressed material along the width of the rollers, helps to increase the density of the final product and reduce the volume of spillage.

**Key words:** granulation, potassium chloride, rolls, press, bandage.

**Введение.** Стратегическими приоритетами Республики Беларусь являются рост эффективности производства, его диверсификация, инновационное развитие, расширение географии поставок, форм и способов продаж.

ОАО «Беларуськалий» успешно выполняет масштабную инвестиционную программу по модернизации, реконструкции и строительству новых объектов производства. Для реализации намеченной программы предусматривалось максимально эффективное использование минерального сырья, производство высококачественной конкурентоспособной продукции и расширение ее ассортимента, создание и освоение нового высокотехнологичного производства, сохранение достигнутых позиций на внешнем рынке (таблица).

#### Производство калийных удобрений за 2009–2018 гг.

Год	Производство калийных удобрений, млн т/год
2009	3,987
2010	8,565
2011	8,901
2012	8,038
2013	7,076
2014	10,377
2015	10,494
2016	10,016
2017	11,518
2018	12,154

Решением задачи диверсификации явился выход на новые сегменты рынка минеральных удобрений и химических продуктов с целью получения дополнительной прибыли, а также снижения рисков неустойчивого спроса на хлорид калия.

Процесс гранулирования – одна из наиболее важных операций в производстве минеральных удобрений. Поэтому технологии, предназначенные для гранулирования, направлены на создание новых конструкций машин, аппаратов, на оптимизацию их конструктивных и технологических параметров. Технологический процесс производства сформованных тел зачастую предусматривает совмещенные технологические операции: смешения, формования, классификации, сушки и др. [1, 2].

**Основная часть.** ОАО «Беларуськалий» постоянно увеличивает долю производства

гранулированных удобрений. Проведенная до 2016 г. модернизация отделений грануляции на обогатительных фабриках позволила увеличить производство гранулированного продукта до 60% в общем объеме.

В рамках технического перевооружения в отделениях грануляции вместо изношенных вальц-прессов фирмы «Цемаг-Цайтц» установлены высокопроизводительные прессы ПВП 1000×650 МУ (производства ЗАО «СИПР с ОП»). Замена прессов позволила увеличить объем производства гранулированных удобрений с 60 до 80% за 2016–2018 гг. (рис. 1).

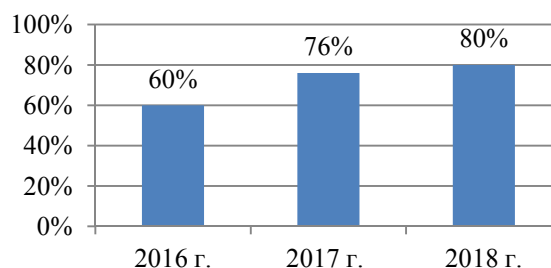


Рис. 1. Рост производства гранулированных удобрений

Применение гранулированного КСI (рис. 2) соответствует требованиям сельского хозяйства. Гранулирование улучшает физические и агрохимические свойства КСI: он не пылит при перегрузке, меньше слеживается, легко рассеивается и лучше усваивается растениями. Благодаря этому гранулированный КСI можно хранить и перевозить навалом, без упаковки и вносить в почву туковыми сеялками, что снижает расходы на перевозку и внесение его в почву. Гранулы обладают меньшей поверхностью на единицу массы по сравнению с порошкообразным продуктом, поэтому гранулированный КСI в меньшей мере вымывается почвенными водами.



Рис. 2. Гранулы хлористого калия

Хлористый калий можно прессовать при давлении 45 кН/см и расстоянии между валками 6 мм. Уменьшение толщины плитки (шульпы) приводит к снижению производительности пресса, а увеличение ее вызывает уменьшение прочности прессата и тем самым снижает выход частиц нужного класса.

Значительное влияние на выход прессата оказывают температура материала, его влажность и гранулометрический состав. Установлено, что высокий выход плитки и ее хорошая прочность достигаются при температуре KCl 100–110°C и влажности не более 0,5%.

Уплотнение материала от насыпной массы 1100–1300 до 2000 кг/м<sup>3</sup> вызывает вытеснение воздуха в количестве до 0,5 м<sup>3</sup> на 1000 кг KCl. Способ удаления воздуха существенно влияет на работу пресса и выход плитки. Удаление воздуха вниз приводит к разрыву шульпы и вызывает вибрацию пресса и снижение выхода плитки.

При удалении воздуха снизу вверх выше зоны прессования образуется кипящий слой, в результате чего уменьшается подача материала в зону прессования и производительность пресса падает. Образование кипящего слоя может быть уменьшено подпрессовкой материала загрузочным шнеком. Высокое содержание мелкодисперсных частиц (менее 0,063 мм) ухудшает прессование KCl.

Технология производства гранулированных калийных удобрений включает процесс прессования порошкообразного материала в рифленую ленту (пластину), которая далее подвергается дроблению и разделению на фракции по размерам. Эффективность этой технологии во многом зависит от совершенства применяемого прессового оборудования и долговечности основных исполнительных узлов. В калийном производстве вальцевание мелкозернистого хлористого калия осуществляется на валковых прессах. В Беларуси их проектирует и выпускает ЗАО «СИПР с ОП».

Производительность пресса пропорциональна окружной скорости валков. При высокой окружной скорости происходит растяжение спрессованной ленты, что приводит к ее разрушению. Оптимальная окружная скорость валков при прессовании KCl равна 0,8–1,2 м/с.

Выбор диаметра валков обусловлен рядом факторов: производительностью пресса, условиями сжатия прессуемого материала, необходимым давлением прессования. Так, с увеличением диаметра обеспечивается обжатие материала, уменьшается обратный поток материала из зоны формования, достигается более стабильная работа агрегата за счет статической и динамической жесткости, что особенно важно

при прессовании малопластичных материалов. Однако увеличение диаметра валков повышает расход энергии, усложняет изготовление и обработку их рабочей поверхности [3, 4]. Промышленные валковые прессы выпускаются с диаметром валка 150–1400 мм и его длиной до 1500 мм. При этом мощность привода составляет до 1000 кВт при усилиях прессования до 10 000 кН.

Валки прессов изготавливают цельными, с цельными и сегментными бандажными кольцами (рис. 3). Бандажи выпускают из легированной износостойчивой стали или легированного чугуна [5, 6]. Их наружная поверхность закаливается на глубину 18–25 мм, внутренняя область имеет меньшую твердость, что способствует поглощению энергии ударов и вибрации [4]. Сегментные бандажи состоят из сегментов, стянутых крепежными кольцами, что обеспечивает легкость монтажа и демонтажа, повышенную износостойкость при использовании твердых, но хрупких износостойчивых сталей, что трудно осуществить при изготовлении цельных цилиндрических бандажей. Кроме того, сегментные бандажи благодаря сборной конструкции облегчают компенсацию теплового расширения [7].



Рис. 3. Конструкции валков:  
 а – цельный валок; б – бандажные кольца;  
 в – сегментное бандажное кольцо

Валок может быть гладким либо иметь периодически расположенные выступы и углубления, форма которых определяет геометрию сформованного материала (рис. 4). Если поверхность валка имеет острые ребра, то в местах их расположения после прессования возможно растрескивание. Подушкообразная форма позволяет выровнять внутренние напряжения в материале [7].

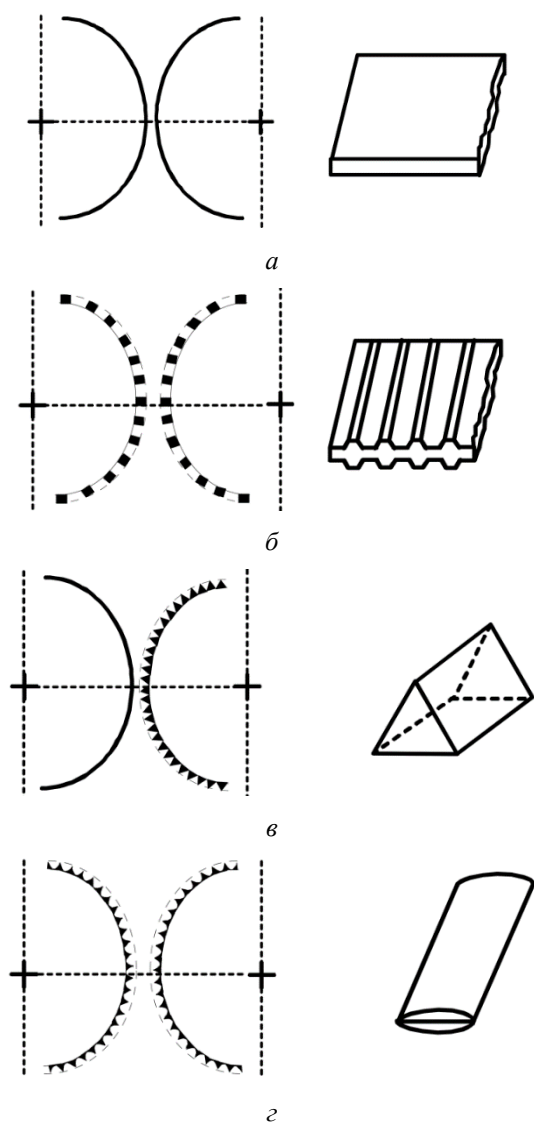


Рис. 4. Зависимость формы получаемой плитки от формы поверхности валка:  
*a* – гладкая плитка; *б* – рифленая поверхность; *в* – призматическая форма; *z* – подушкообразная форма

Выбор геометрической формы и размеров формирующих элементов определяется следующими требованиями к спрессованным телам: технологическими (условиями сушки, обжига, транспортировки материала и др.); эксплуатационными (необходимостью снижения энергозатрат, связанных с восстановлением (заменой)

изношенных элементов, техническим обслуживанием и эксплуатацией оборудования); производственными (наиболее полным использованием поверхности валков, определяющих производительность валкового пресса).

Многие конструкции снабжены устройствами обогрева валков до 353–378 К в зависимости от прессуемого материала.

Основными и самыми быстро изнашивающимися элементами валкового пресса являются валки с формирующими элементами на рабочих поверхностях (рис. 5). Отсюда следует, что проблема повышения износостойкости и долговечности валков является весьма важной. Она актуальна еще и потому, что по мере износа, неравномерно распределенного по длине валков, происходит падение давления прессования на отдельных участках. Это приводит к повышению пористости и уменьшению плотности гранул, что в целом снижает качество и цену калийных удобрений. При этом возрастает также объем просыпи и сокращается доля выхода готового продукта.



Рис. 5. Общий вид валкового пресса производства ЗАО «СИПР с ОП»

Износостойкость валков (рис. 6) вальц-пресса определяет также непрерывность и производительность всего технологического цикла производства гранулированных удобрений [8]. В частности, замена изношенного комплекта валков (2 шт.) и последующая наладка пресса требуют остановки всего процесса гранулирования на 80–90 ч, что равносильно снижению объема производства калийных удобрений на 1360–1530 т.



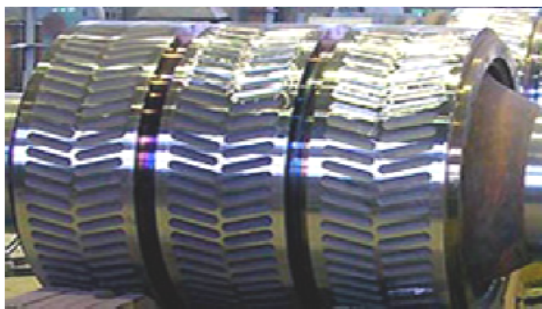


Рис. 6. Валок с формующими элементами на рабочих поверхностях

Результаты проведенного исследования были использованы в конструкции валков вальц-пресса ПВП 1000×650 МУ (рис. 7). Согласно результатам лабораторных испытаний, повышение износостойкости за счет сглаживания профиля формующих элементов составляет 15–20%, что равносильно продлению срока службы комплекта валков примерно на 5 месяцев – это первая составляющая экономического эффекта от внедрения результатов исследований.

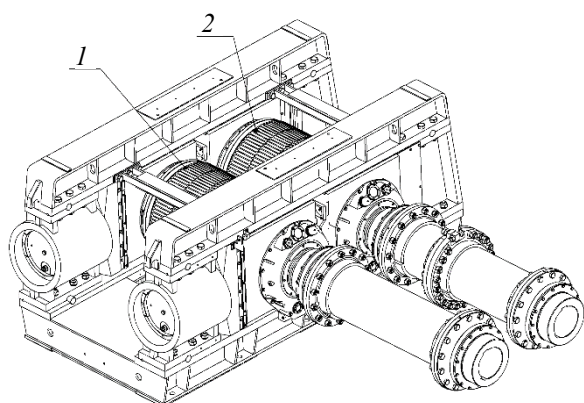


Рис. 7. Модернизированный вальцовый пресс ПВП 1000×650 МУ:

1, 2 – валки с формующими элементами, имеющими закругленные кромки

Вторая составляющая – сокращение суммарного времени, приходящегося на весь период эксплуатации пресса, обусловленного необходимостью замены валков после износа. Увеличение межремонтного периода позволит повысить производительность технологического процесса производства гранулированных удобрений приблизительно на 0,3%. Третьей составляющей является выбор рациональной технологии изготовления валков и станочного оборудования, позволяющей снизить трудоемкость обработки формующих элементов и уменьшить объем неспрессованного материала [8].

**Заключение.** Приведенный анализ научно-технических разработок свидетельствует о большом разнообразии конструктивно-технологических решений валковых и других прессов, что подтверждает актуальность исследуемой проблемы и большие перспективы дальнейшего развития данного направления для промышленности республики с ее объемами перерабатываемых неорганических и органических материалов в различных отраслях промышленности, а также необходимость экономии топливно-энергетических ресурсов. Создание современных конструкций валковых прессов возможно только на основе глубокого изучения механических и химических процессов, протекающих при уплотнении мелкофракционных материалов.

Предложенное исполнение формующих элементов в виде непрерывных круговых пазов с вогнутым дугообразным профилем помимо экономического эффекта способствует лучшему захватыванию прессуемого материала и более равномерному его распределению по ширине валка, улучшает отделение спрессованного материала от валков. Выполнение формующих элементов переменной глубины с учетом распределения прессуемого материала по ширине валков приводит к повышению плотности конечного продукта и уменьшению объема просыпи.

### Литература

1. Ильина Т. Н. Процессы агломерации в технологиях переработки дисперсных материалов. Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2009. 229 с.
2. Dittmar H. Fertilizers, 4: Granulation // Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. 2012. Vol. 14. P. 253–272.
3. Баюл К. В. Разработка параметров формующих элементов валковых прессов для брикетирования мелкофракционных металлургических отходов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08. Днепропетровск, 2008. 20 с.
4. Севостьянов В. С., Дубинин Н. Н., Севостьянов И. В. Пресс-валковые агрегаты в промышленности строительных материалов. Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2000. 216 с.
5. Классен П. В., Гришаев И. Г. Основы техники гранулирования. М.: Химия, 1982. 272 с.
6. Pietsch W. Roll Pressing. London: Powder Advisory Center, 1987. 143 p.
7. Mähler S. Kompaktieren feindisperser Schüttgüter in Walzenpressen: Diss. Paderborn, 2000. 142 s.
8. Конструктивные пути повышения эффективности прессования хлористого калия / В. Я. Прушак [и др.] // Горная механика и машиностроение. 2016. № 3. С. 82–86.

### References

1. Il'ina T. N. *Protsessy aglomeratsii v tekhnologiyakh pererabotki dispersnykh materialov* [The processes of agglomeration in the technology of processing dispersed materials]. Belgorod, BelGTASM Publ., 2009. 229 p.
2. Dittmar H. Fertilizers, 4: Granulation. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 2012, vol. 14, pp. 253–272.
3. Bayul K. V. *Razrabotka parametrov formuyushchikh elementov valkovykh pressov dlya briketirovaniya melkofraktsionnykh metallurgicheskikh otkhodov. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Development of parameters of forming elements of roller presses for briquetting small-fraction metallurgical wastes. Abstract of thesis cand. of eng. sci.]. Dnepropetrovsk, 2008. 20 p.
4. Sevost'yanov V. S., Dubinin N. N., Sevost'yanov I. V. *Press-valkovyye agregaty v promyshlennosti stroitel'nykh materialov* [Roller press aggregates in the building materials industry]. Belgorod, BelGTASM Publ., 2000. 216 p.
5. Klassen P. V., Grishaev I. G. *Osnovy tekhniki granulirovaniya* [Fundamentals of the technology of granulation]. Moscow, Khimiya Publ., 1982. 272 p.
6. Pietsch W. Roll Pressing. London, Powder Advisory Center, 1987. 143 p.
7. Mähler S. Kompaktieren feindisperser Schüttgüter in Walzenpressen: Diss. Paderborn, 2000. 142 s.
8. Prushak V. Ya., Shcherba Ye. V., Kondratchik N. Yu., Volchek O. M. Constructive ways to increase the efficiency of pressing potassium chloride. *Gornaya mekhanika i mashinostroeniye* [Mining mechanical engineering and machine-building], 2016, no. 3, pp. 82–86 (In Russian).

### Информация об авторах

**Прушак Виктор Яковлевич** – член-корреспондент НАН Беларуси, доктор технических наук, профессор, директор. ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством» (223710, г. Солигорск, ул. Козлова, 69, Республика Беларусь). E-mail: onti@sipr.by

**Кондратчик Наталья Юрьевна** – аспирант, преподаватель кафедры «Оборудование и автоматизация производства». Барановичский государственный университет (225404, г. Барановичи, ул. Войкова, 21, Республика Беларусь). E-mail: barsu@brest.by

**Высоцкая Надежда Александровна** – аспирант, заместитель начальника отдела научно-технической информации. ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством» (223710, г. Солигорск, ул. Козлова, 69, Республика Беларусь). E-mail: onti@sipr.by

### Information about the author

**Prushak Viktor Yakovlevich** – Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc (Engineering), Professor, Director. JSC “Soligorsk Institute of Resources Saving Problems with Pilot Production” (69, Kozlova str., 223710, Soligorsk, Republic of Belarus). E-mail: onti@sipr.by

**Kondratchik Natali Yur'yevna** – PhD student, lecturer, the Department of Equipment and Automation of Production. Baranovichi State University (21, Voikov str., 225404, Baranovichi, Republic of Belarus). E-mail: barsu@brest.by

**Vysotskaya Nadezhda Aleksandrovna** – PhD student, Deputy Head of Department of Scientific and Technical Information. JSC “Soligorsk Institute of Resources Saving Problems with Pilot Production” (69, Kozlova str., 223710, Soligorsk, Republic of Belarus). E-mail: onti@sipr.by

Поступила 26.11.2019