

**М.В. Черепанова, И.С. Потапов,  
В.З. Пойлов, К.В. Попова**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет

**С.Н. Алиферова**

ОАО «Уралкалий»

## **ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВКИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРАНУЛИРОВАННОГО ХЛОРИДА КАЛИЯ**

*Изучено влияние условий хранения и транспортировки на физико-механические свойства гранулированного хлорида калия. Показано, что в процессе хранения и транспортировки насыпью происходит значительное ухудшение товарных свойств гранулята.*

ОАО «Уралкалий» – это современное горно-химическое предприятие, один из крупнейших в мире производителей калийных удобрений, более 90 % продукции которого направляется на экспорт. Для транспортировки своей продукции предприятие использует морской и железнодорожный транспорт. Большую часть своей продукции ОАО «Уралкалий» доставляет насыпью. В процессе хранения и транспортировки происходит изменение физико-механических характеристик: статической и динамической прочности, гигроскопичности, сыпучести, слеживаемости [1]. В связи с этим изучение влияния условий хранения и транспортировки хлорида калия на его физико-механические характеристики является актуальной задачей.

В качестве объекта исследования использовали гранулированный хлорид калия ОАО «Уралкалий», г. Соликамск (СКПРУ-2), который представляет собой прессованные гранулы неправильной формы с массовой долей хлорида калия не менее 95 % (в пересчете на  $K_2O$  не менее 60 %). Гранулометрический состав гранулированного хлорида калия СКПРУ-2:

Размер фракции, мм	+5,0	-5,0+2,0	-2,0
Содержание фракции, %	0,59	98,74	0,67
Средний размер гранул, мм	3,50		

Основная масса гранулированного продукта (98,74 %) представлена фракцией размером -5,0+2,0 мм, а средний размер частиц составляет 3,5 мм.

Изучение влияния относительной влажности воздушной среды на гигроскопичность гранулированного КС1 проводили при комнатной температуре (25 °С). Гигроскопичность образцов гранулята определяли гравиметрическим методом, а влажность воздушной среды (80 и 100 %) в эксикаторе поддерживали с помощью воды и раствора серной кислоты определенной концентрации. Результаты изучения влияния относительной влажности среды на гигроскопичность гранулированного хлорида калия представлены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние относительной влажности воздушной среды  
на влажность гранулированного хлорида калия

Относительная влажность воздушной среды, %	Влажность гранулята (%) через заданные промежутки времени, ч						
	0	2	4	24	48	72	96
80	0,383	0,395	0,400	0,461	0,471	0,478	0,500
100	0,383	0,543	0,608	2,752	2,980	3,157	5,161

С увеличением относительной влажности воздушной среды и длительности выдержки образцов гранулята гигроскопичность возрастает. Так, при длительности процесса 96 ч и увеличении влажности среды с 80 до 100 %, гигроскопичность возрастает в 10,3 раза. В процессе испытаний установлено, что при выдержке гранулированного КС1 более 24 ч (включительно) при влажности 100 % начинается обводнение гранулята, сопровождаемое конденсацией паров воды и формированием на поверхности гранул пленки воды, растворяющей гранулы. При выдержке 96 ч (4 сут) при относительной влажности среды 80 % влажность гранулированного хлорида калия не превышает требований ТУ и составляет 0,500 %. Из полученных данных можно сделать вывод, что хранение и транспортировка гранулированного КС1 насыпью при относительной влажности более 80 % приводит к значительному поглощению влаги, что может привести к изменениям других физико-химических свойств.

Степень поглощения влаги гранулятом (гигроскопичность) зависит не только от относительной влажности воздуха, но и от температуры среды [1]. В связи с тем, что удобрения транспортируют в разных климатических условиях с различной температурой и температура на складе или в вагонах в летнее время может достигать 35–40 °С, имеет практический интерес изучение гигроскопичности при повышенной температуре. Изучение гигроскопичности проводили при относительной влажности 80 % и температуре среды 25 и 45 °С (рис. 1). По полученным данным видно, что с увеличением длительности хранения влажность гранулята возрастает. При этом с повышением температуры с 25 до 45 °С гигроскопичность снижается. Следует отметить, что при температуре 45 °С скорость поглощения влаги гранулятом выше, чем при 25 °С, за счет повышения скорости диффузии на поверхности и внутри пор гранулята. Однако при температуре 25 °С конечная влажность хлорида калия выше, чем при 45 °С, что можно объяснить увеличением физической адсорбции паров воды.

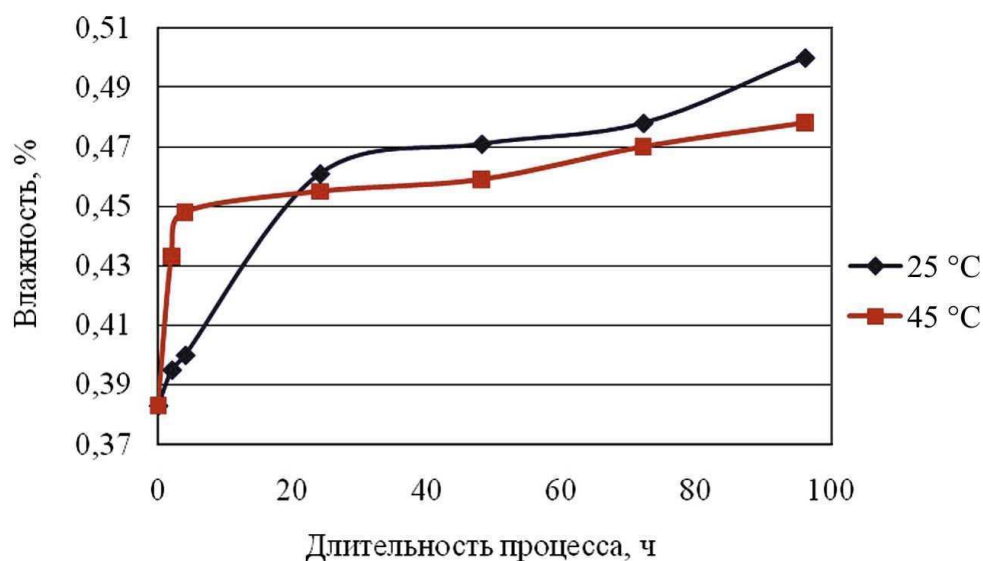


Рис. 1. Влияние длительности хранения и температуры окружающей среды на гигроскопичность гранулированного хлорида калия

Известно, что влагосодержание оказывает значительное влияние на статическую и динамическую прочности и истираемость гранул. Для изучения влияния влажности на статическую прочность гранулированный КС1 в течение заданного времени выдерживали в эксикаторе с относительной влажностью 80 и 100 % при комнатной температуре. При этом максимальная влажность хлорида калия после выдержки в течение 96 ч составила 0,471 и 2,980 % соответственно.

Методика определения статической прочности гранул заключалась в измерении среднего усилия разрушения гранул товарной фракции размером более 2,0 мм на приборе ИПГ-1М. При анализе производили измерения прочности не менее 30 гранул. Результаты измерения средних значений прочности представлены на рис. 2.

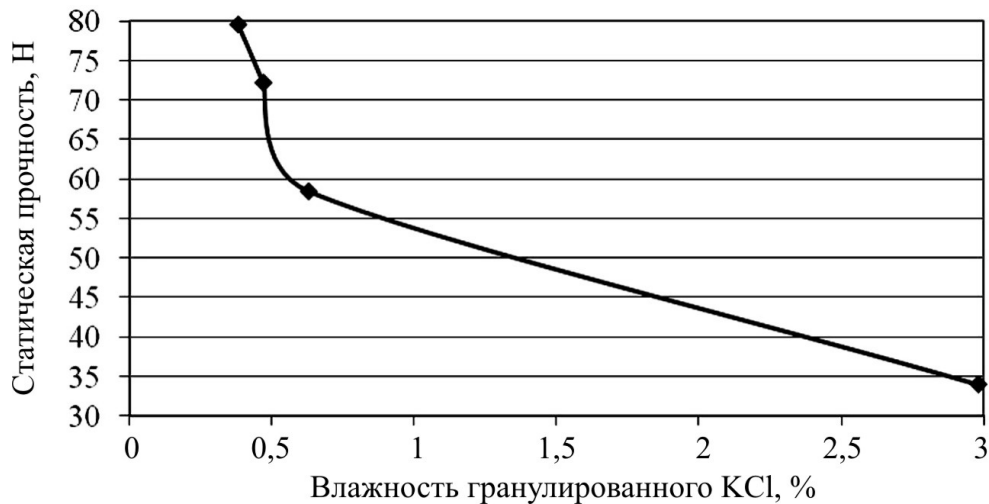


Рис. 2. Влияние влажности гранулированного хлорида калия на статическую прочность

Видно, что с увеличением влажности гранул их статическая прочность снижается, особенно при небольших изменениях значения влажности. Снижение прочности гранул связано с растворением фазовых контактов и заменой их жидкофазными.

Влияние влажности на динамическую прочность и истираемость гранул определяли на приборе для измерения динамической прочности марки «ПКПГ М 38.08.20 ПС» при ранее указанных условиях. В процессе испытаний образец гранул 200 г с загрузкой из стальных шариков (200 г) подвергали вращению в течение 10 мин со скоростью 83 об/мин. По истечении заданного времени с помощью постоянного магнита отделяли стальные шарики от образца гранулята и далее проводили рассев исследуемого образца в наборе из двух сит с размером ячеек 2,0 и 1,25 мм. Для этого пробу, находящуюся в отсеках барабана, с помощью кисти переносят на поверхность верхнего сита размером 2,0 мм. Отсев производят на виброгрохоте в течение 10 мин. Затем определяют массу пробы с размером +2,0 мм. Динамическую прочность ( $X$ ) в процентах вычисляют по формуле

$$X = m_1 / m \cdot 100,$$

где  $m_1$  – масса пробы после первого отсева, г;  $m$  – масса всей пробы, г.

Истираемость ( $X'$ ) является физической величиной обратной динамической прочности, измеряется также в процентах и рассчитывается по формуле

$$X' = 100 - X_{\text{ср.}}$$

Результаты исследований представлены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние влажности гранулированного хлорида калия на динамическую прочность и истираемость гранул

Влажность гранулированного КС1, %	Динамическая прочность гранул, %	Истираемость гранул, %
0,383	92,0	8,0
0,471	91,0	9,0
2,980	90,4	9,6

Из приведенных данных видно, что с увеличением влажности гранул динамическая прочность снижается, а истираемость, соответственно, возрастает на 1,6 %.

Слеживаемость различных удобрений по-разному зависит от их влажности [2]. Изучение слеживаемости проводили на приборе-анализаторе тенденции к слеживаемости удобрений «АСАР ЕASY» (Финляндия) при ранее указанных условиях. Принцип определения слеживаемости на этом приборе заключается в измерении усилия сжатия, необходимого для разрушения спрессованного брикета цилиндра удобрения, с заданным усилием и длительностью прессования. По этой величине определяют коэффициент слеживаемости  $S$  и степень сжатия слоя гранулята, что характеризует плотность упаковки слоя гранулята после сжатия. Работа прибора контролируется компьютером с помощью программного обеспечения, что позволяет точно устанавливать длительность и величину сжатия образца. Изучение влияния влажности гранулированного хлорида калия на слеживаемость проводили при величине сжатия образца 10 кгс/см<sup>2</sup> в течение 5 мин. Результаты измерений представлены в табл. 3.

По данным табл. 3 видно, что с увеличением влажности гранулята слеживаемость ( $S$ ) гранулированного КС1 и степень сжатия слоя возрастают. Так, с увеличением влажности гранул с 0,383 до 2,980 % коэффициент слеживаемости повышается на 1,191 кг/см<sup>2</sup>, а степень сжатия слоя увеличивается на 4,7 %, т.е. с увеличением влажности до

2,980 % слой гранулированного КС1 слеживается сильнее и необходимо затратить больше сил на его разрушение. Следовательно, увеличение влажности гранулированного КС1 более 0,471 % при хранении и транспортировке насыпью может привести к значительному слеживанию слоя.

Таблица 3

Влияние влажности гранулированного хлорида калия на слеживаемость

Влажность гранулята КС1, %	Высота слоя гранулята, мм		Степень сжатия слоя гранулята, %	Коэффициент слеживаемости S, кг/см <sup>2</sup>
	начальная	конечная		
0,383	49,200	45,960	6,59	0
0,471	46,759	43,328	7,34	0,121
2,980	47,381	42,028	11,29	1,191

Увеличение длительности хранения и высоты насыпи слоя гранулята оказывает влияние на слеживаемость продукта. В связи с этим было изучено влияние статической нагрузки (пропорциональной высоте слоя) и длительности процесса сжатия слоя гранулята на слеживаемость и степень сжатия. Исследования проводили при статической нагрузке 10, 20 и 30 кг/см<sup>2</sup>, которые соответствуют высоте слоя гранулята 1, 2, 3 м соответственно, при длительности процесса сжатия 5, 10 и 15 мин, влажности исходного гранулята – 0,383 % и температуре 25 °С (табл. 4).

Таблица 4

Влияние статической нагрузки и длительности сжатия на слеживаемость и степень сжатия слоя гранулята

Статическая нагрузка, кг/см <sup>2</sup>	Высота слоя гранулята, м	Длительность процесса сжатия образца, мин	Высота слоя гранулята, мм		Степень сжатия слоя гранулята, %	Коэффициент слеживаемости S, кг/см <sup>2</sup>
			начальная	конечная		
10	1,0	5	49,20	45,96	5,35	0
		10	51,19	47,92	5,24	0
		15	50,27	46,95	5,08	0,232
20	2,0	5	50,85	46,54	8,48	0
		10	50,83	46,59	8,34	0,331
		15	51,78	47,89	7,51	0,452
30	3,0	5	50,97	45,04	11,63	0,176
		10	49,716	43,85	11,79	2,315
		15	50,53	44,79	9,51	2,547

По данным табл. 4 видно, что с увеличением статической нагрузки (высоты насыпного слоя гранулята) и длительности процесса сжатия слеживаемость и степень сжатия возрастают. При длительности процесса сжатия 5 мин гранулированный КС1 практически не слеживается, независимо от величины статической нагрузки. Из приведенных данных следует, что слеживаемость пропорциональна приложенному давлению сжатия (статической нагрузке).

В процессе транспортировки железнодорожным транспортом гранулированный продукт подвергается статической и вибрационной нагрузкам, что влияет на долю разрушенных гранул гранулированного хлорида калия. В связи с этим было исследовано влияние длительности статической и вибрационной нагрузок на долю разрушенных гранул (менее 2,0 мм). Исследования проводили с различной длительностью вибрации (30–60 мин) при частоте колебаний 30 Гц и статической нагрузке 1,25 и 2,5 кгс/см<sup>2</sup>. Исходный хлорид калия имел влажность 0,383 %.

Результаты эксперимента (рис. 3) показывают, что при увеличении длительности действия вибрационной нагрузки до 60 мин и величины статического сжатия 1,25 и 2,5 кгс/см<sup>2</sup> доля разрушенных гранул возрастает и составляет 20 и 35 % соответственно. В связи с этим можно сделать вывод, что гранулированный хлорид калия, находящийся на дне вагона (подвергается нагрузке 2,5 кгс/см<sup>2</sup>) разрушается значительно больше, чем КС1, находящийся в среднем слое вагона (при нагрузке 1,25 кгс/см<sup>2</sup>).

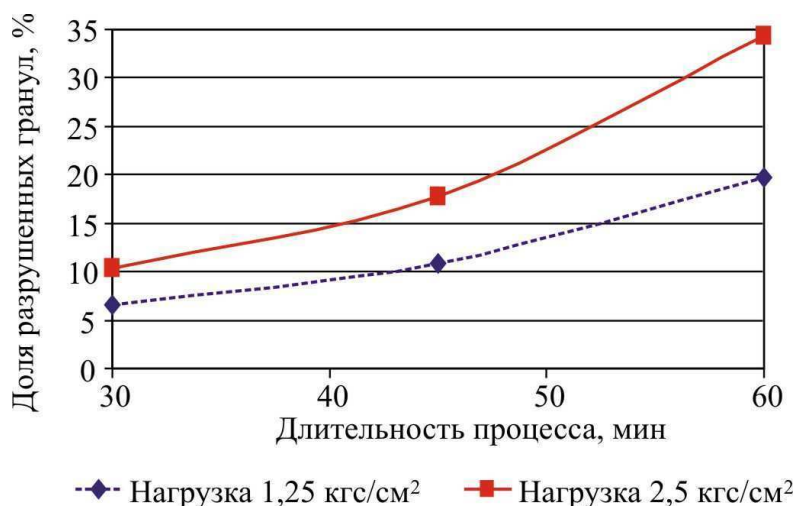


Рис. 3. Влияние длительности вибрационной нагрузки при постоянной величине статической нагрузки (1,25 и 2,5 кгс/см<sup>2</sup>) на долю разрушенных гранул

Разрушение гранул КС1 приводит к увеличению содержания частиц размером менее 2,0 мм, что приводит к дальнейшему изменению физико-механических свойств (увеличению слеживаемости, гигроскопичности, истираемости, уменьшению динамической и статической прочности). Разрушение гранулята в реальных условиях может происходить, во-первых, за счет сдвиговых напряжений, при которых происходит отрыв отдельных частиц или их небольших образований с поверхности гранулы, что ведет к постепенному уменьшению ее размеров. Этот вид разрушения приводит к высокой степени диспергирования (механическое разрушение). Также разрушение может происходить за счет деформаций гранул за счет сосредоточенных сжимающих усилий, аналогичных контактными напряжениям сжатия.

### **Список литературы**

1. Кувшинников И.М. Минеральные удобрения и соли: свойства и способы их улучшения. – М.: Химия, 1987. – 256 с.
2. Романов Н.Ю., Пойлов В.З., Шишова С.В. Применение антислеживателей в производстве минеральных удобрений // Наука в решении проблем Верхнекамского промышленного региона: сб. науч. тр. / Березник. фил. ПГТУ. – Березники, 2005. – Вып. 4. – 353 с.

Получено 20.06.2012