

## ПРЕССОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СДВИГОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

*Е.И. Кромский, Н.И. Ахметшин, Б.А. Яров*

Проведен анализ шарнирно-стержневых механических систем для прессования композиционных материалов. Показаны преимущества технологии прессования сыпучих сред с использованием сдвиговых деформаций.

*Ключевые слова:* зонное нагнетание, машины для прессования, композиционные материалы, силовой расчет, сравнительный анализ.

Композиционные материалы – это материалы, образованные объёмным сочетанием химически разнородных компонентов с четкой границей раздела между ними, характеризующиеся свойствами, которыми не обладает ни один из компонентов, взятый в отдельности.

Большинство дорожно-строительных материалов: грунты, бетонные, асфальтобетонные и другие смеси – это композиционные материалы, состоящие из пластичной основы (матрицы), служащей связующим материалом, и включений различных компонентов в виде минеральных порошков, твердых заполнителей (песок, щебень), дисперсной арматуры (фибры) и т. п.

Исходная композиционная смесь состоит из газообразной фазы (например, воздух), жидкой (битум, цементный раствор, вода) и твердой (песок, щебень).

Задача прессования – это удаление в соответствии с техническими условиями из приготовленной смеси воздуха, избыточного количества технологической жидкости и сближения твердых частиц с целью получения максимальных контактных поверхностей.

Для получения высококачественных прессовок используют дополнительные технологические приемы: вакуумирование смеси, воздухопроницаемые пресс-формы, пластификаторы и суперпластификаторы.

Увеличение усилия сжатия для получения плотных прессовок не всегда приводит к желаемым результатам из-за разрушения твердых заполнителей. В.Е. Перельман в своих работах предлагает получать высокоплотные текстуры из порошков без разрушения гранул, если в процессе уплотнения использовать не только сжимающие деформации, но и сдвиговые [1].

В Южно-Уральском государственном университете (НИУ) и в ОАО «Научно-исследовательском институте транспортного строительства», ООО «Машмир-Инноцентр», ООО «Интеллект-Капитал» (Москва) разработаны технологии уплотнения и устройства для их осуществления с использованием сдвиговых деформаций [2, 3].

ОАО «Научно-исследовательский институт транспортного строительства» (Москва) и ООО «Машмир-Инноцентр» разработали «Руководство по применению зонного нагнетания при формировании бетонных и железобетонных изделий посредством нагнетателей сред типа «Русские качели».

Общество с ограниченной ответственностью «Интеллект-Капитал» занимается внедрением в производство новой технологии уплотнения маловлажных сыпучих материалов, являющейся альтернативой известным сегодня технологиям уплотнения, таким как прессование, вибрирование, трамбование, укатка или их комбинации. Новая технология называется «Зонное нагнетание» или «Русские качели» – это официально зарегистрированный товарный знак. Технология защищена тринадцатью патентами РФ.

Как отмечают разработчики, преимущества зонного нагнетания по сравнению с традиционными технологиями уплотнения:

- 1) получение равномерной плотности и прочности по всему объёму;
- 2) отсутствие дозирования в процессе уплотнения;
- 3) отсутствие необходимости в тяжелых и прочных формах;
- 4) возможность получения однородной предельно плотной структуры бесконечной длины;
- 5) уменьшение усилия уплотнения в 50–100 раз по сравнению с прессованием.

Схематично работа технологии с использованием сдвиговых деформаций представлена на рис. 1.

Над краем открытой сверху горизонтальной формы раскачивается нагнетатель до касания с верхней поверхности формы. При каждом ходе нагнетателя вверх в зону под него подсыпается порошок (смесь) по всей ширине изделия. Нагнетатель сбивает порошок в форму до её верхней поверхности. В результате постоянной подачи в зоне под рабочим органом возникает вынужденное течение порошка с упорядоченной структурой заданной плотности, близкой к предельной. Эта упорядоченная текучая структура и названа «текущий клин». Возникновение текучего клина характеризуется выдавливанием порошка из нагнетателя. После начала такого выдавливания нагнетатель перемещают вслед за выдавливаемым порошком. Происходит как бы выращивание изделия за счет образования и движения в заданном направлении текучего клина. При этом плотность изделия близка к абсолютной для данного порошка [3].

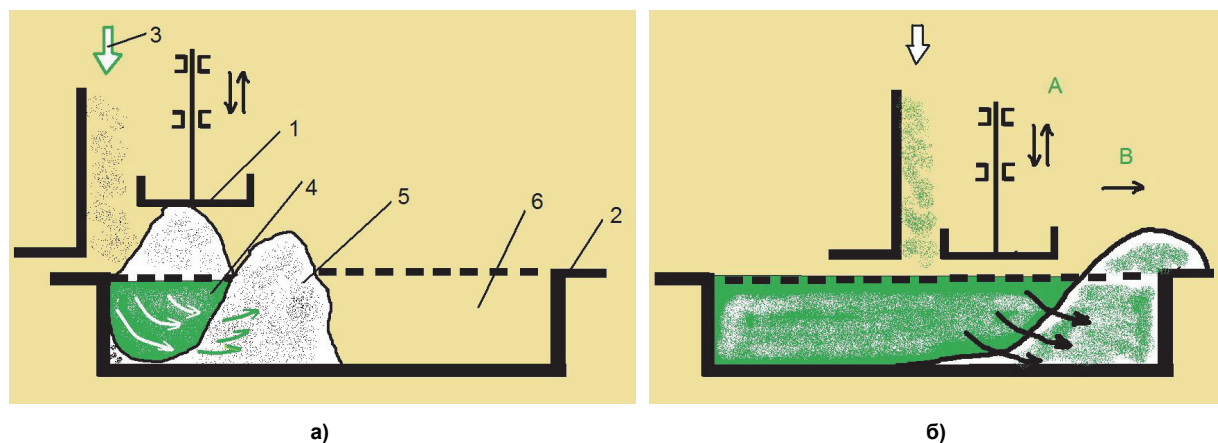


Рис. 1. Схема работы механизма «Русские качели»: а – начало процесса, б – середина процесса; 1 – нагнетатель, 2 – форма, 3 – подача порошка, 4 – текучий клин, 5 – выдавливание порошка из-под нагнетателя, 6 – незаполненная часть формы. Стрелка А – направление качения нагнетателя, стрелка В – направление перемещения нагнетателя относительно формы

ООО «Интеллект-Капитал» разработала и запустила в серийное производство следующие машины:

- комплект формовочный МН 05;
- машина зонного нагнетания РК 250.

Схема машины РК 250 представлена на рис. 2.

Нагнетатель (плита) поз. 1 крепится к горизонтальной балке 2, установленной на стойках 3 с помощью шарниров. Балка 2 качается на стойках 3 при включении привода (на рис. 2 не показан).

При качении балки 2 нагнетатель 1 перемещается с одной половины формы 4 на другую половину. Одновременно форма движется в направлении, перпендикулярном поверхности рисунка, обеспечивая изготовления изделий большой протяженности.

На кафедре «Колесные, гусеничные машины и автомобили» (КГМиА) ЮУрГУ (НИУ) разработаны проекты формовочной установки с использованием сдвиговых деформаций для прессования строительных камней размером  $250 \times 120 \times 65$  (рис. 3), асфальтоукладчик и бетоноукладчик с полосой обработки шириной 3 м и высотой сечения до 300 мм. Конструкция, принцип работы и методика расчета этих машин изложена в предыдущей публикации [2].

В данной работе на основе силового расчета выясним преимущества (достоинства) технических решений, принятых в машине зонного нагнетания РК 250 (Москва) и формовочной установке  $250 \times 120 \times 65$  (Челябинск).

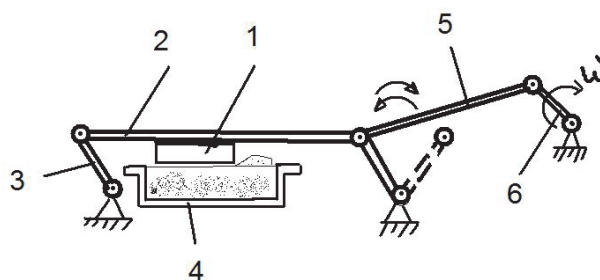


Рис. 2. Принципиальная схема механизма «Русские качели»: 1 – нагнетатель (плита); 2 – балка; 3 – стойка; 4 – форма, 5 – шатун, 6 – кривошип

## Расчет и конструирование

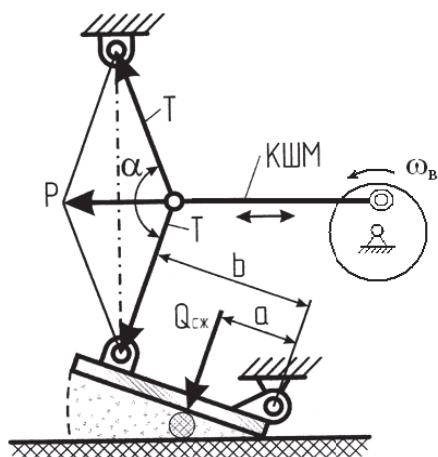


Рис. 3. Схема формовочной машины ЮУрГУ

Исходные данные (одинаковые для обеих схем):  
Размеры плиты нагнетателя,  $a \times b \times h$ , мм –  $120 \times 120 \times 10$ .

Максимальное давление на плите нагнетателя, МПа – 1.

Длина звеньев механизмов, мм:

– кривошипа – 50,

– шатуна – 200,

– стоек – 200,

– распорных стоек – 200.

Частота вращения кривошипа – 30 рад/с.

Рассмотрим расчетную схему механизма пресования формовочной машины ЮУрГУ (НИУ), рис. 4.

Для предлагаемого механизма (ЮУрГУ) построены планы положений звеньев для цикла работ, которые приведены на рис. 4. В области рабочего хода (положения 7, 8, 9, 10, 11, 12, 1) проведен силовой расчет, при котором найдены реакции в кинематических парах. Результаты расчетов показаны в табл. 1.

Аналогичные операции проведены для механизма РК 250 (рис. 5).

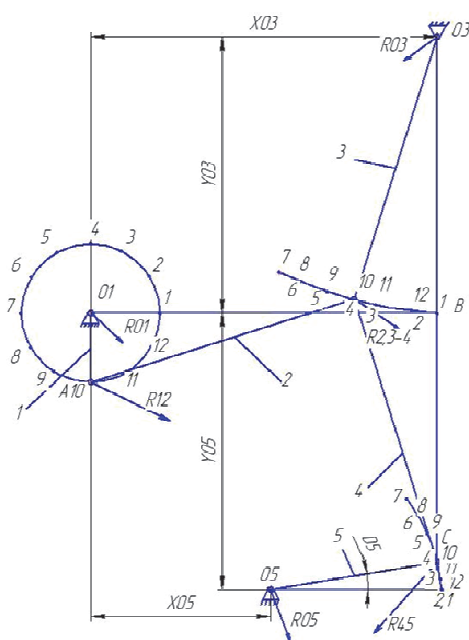


Рис. 4. Принципиальная схема машины для пресования ЮУрГУ

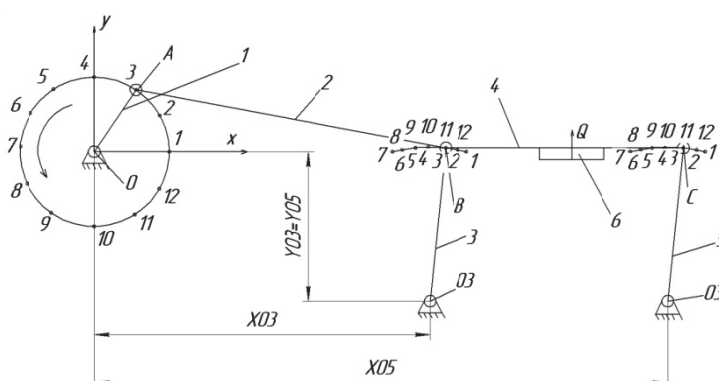


Рис. 5. Расчетная схема механизма РК 250

Таблица 1

Результаты силового расчета предлагаемого механизма ЮУрГУ

Положение	D5, гр.	Лк, мм	hQ, мм	Q, Н	R05, Н	R23-4, Н	R03, Н	R12, Н
7	25	0	120	0	0	0	0	0
8	24	4,8	118	23	23	0,4	0,5	0,4
9	17	38,4	101	1475	1239	238	325	245
10	8	81,6	79	6659	4412	2274	2751	1533
11	2	110,4	65	12188	6614	5643	6060	1813
12	0,3	118,6	61	14056	7118	6948	7012	577
1	0	120	60	14400	7200	7200	7200	0

Примечание. Для всех положений:  $R45 = R23-4$ ,  $R01 = R12$ .

Результаты силового расчета РК 250 приведены в табл. 2.

Сравнивая данные, приведенные в табл. 1 и 2, можно отметить, что в схеме машины ЮУрГУ максимальное усилие прессования возникает в конце рабочего хода при минимальной реакции в шарнире, соединяющим кривошип со стойкой, что выгодно отличает эту машину от РК 250 (Москва).

Таблица 2

Результаты силового расчета московского механизма РК 250

Положение	S4, мм	Q, Н	R05, Н	R23-4, Н	R03, Н	R12, Н
4	0,00	0	0	0	0	0
5	0,69	682	345	344	352	93
6	2,31	7647	3920	3918	4004	1739
7	3,17	14400	7436	7409	7436	3718
10	0,00	0	0	0	0	0
11	0,69	682	339	344	352	79
12	2,31	7667	3913	3913	4006	1696
1	3,17	14400	7436	7436	7436	3718

Примечание. Для всех положений: R45 = R05, R01 = R12.

### Выводы

1. Траектории движения плиты нагнетателя у рассматриваемых схем машин различны: у машин типа «Русские качели» (РК 250) – плоскопараллельное движение; у машин ЮУрГУ (НИУ) – угловые перемещения, что обеспечивает большее расстояние между крайними положениями плиты нагнетателя и, тем самым, лучшие условия подсыпания материала под нагнетатель.

2. Реакция (усилие) в шарнире, соединяющим кривошип со стойкой в предлагаемом механизме ЮУрГУ в самом нагруженном положении (в конце рабочего хода) равна нулю. В механизме РК 250 (Москва) в этом положении реакция максимальна.

3. С точки зрения прочности и долговечности, предлагаемые механизмы ЮУрГУ (НИУ) лучше прототипа РК 250 (Москва).

### Литература

1. Перельман, В.Е. Формование порошковых материалов / В.Е. Перельман. – М.: Металлургия, 1979. – 232 с.
2. Кромский, Е.И. Новая техника для уплотнения дорожно-строительных материалов / Е.И. Кромский, А.В. Безбородов, О.А. Ефимов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение», 2011. – Вып. 17. – № 11 (228). – С. 142–147.
3. Руководство по применению зонного нагнетания при формовании бетонных и железобетонных изделий посредством нагнетателей сыпучих сред типа «Русские качели». – М.: ОАО ЦНИС», 2003. – 40 с.
4. Пат. на полезную модель № 93320 Российская Федерация, МПК В22F 3/02. Устройство для получения изделий из композиционных материалов / Е.И. Кромский, В.Н. Бондарь, А.В. Свирид и др. – № 2009146988/22; заявл. 17.12.2009, опублик. 27.04.2010, Бюл. № 12.

**Кромский Евгений Ильич.** Кандидат технических наук, доцент кафедры «Колёсные и гусеничные машины», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), ekromskiy@mail.ru.

**Ахметшин Нашат Исламович.** Доцент кафедры «Сервис и технология художественной обработки материалов», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), schu148@mail.ru.

**Яров Булат Ажуватович.** Аспирант кафедры «Машины и технологии обработки материалов давлением», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), bulatyarov@gmail.com.

Поступила в редакцию 17 февраля 2014 г.

### COMPRESSING THE COMPOSITE MATERIALS USING SHEAR STRAINS

*E.I. Kromsky, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, ekromskiy@mail.ru,  
N.I. Achmetschin, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, schul48@mail.ru,  
B.A. Yarov, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, bulatyarov@gmail.com*

In article is devoted to analyze of hinge-pivot mechanic system for pressing of composition materials. There showed advantages of technology of strew materials pressing by wing of tangential formations.

*Keywords: local jetting, extrusion machines, composite materials, power calculation, comparative analysis.*

#### References

1. Perelman V.E. *Formovanie poroshkovykh materialov* [Forming of Powder Materials]. Moscow, Metallurgiya Publ. 1979, 232 p.
2. Kromskii E.I., Bezborodov A.V., Efimov O.A. [New Equipment for Compacting of Road Construction Materials]. *Bulletin of the South Ural State University. Series «Mechanical Engineering Industry»*, 2011. Issue 17, no.11 (228), pp. 142–147. (in Russ.)
3. *Rukovodstvo po primeneniiu zonnogo nagnetaniia pri formovanii betonnykh i zhelezobetonnykh izdelii posredstvom nagnetatelei syuchikh sred tipa «Russkie kacheli»* [Guidance on the Application of the Band at Pumping Molding of Concrete goods and Structures by means of Granular media type of Superchargers "Russian sWings"]. Moscow, Publ. corporation TsNIS, 2003, 40 p.
4. Kromskii E.I., Bondar V.N., Svirid A.V. e. a. *Ustroistvo dlya polucheniia izdelii iz kompozitnykh materialov* [The apparatus for Producing of Products from of Composite Materials]. Patent Utility Model RF RU no. 93320, Publ. Bulletin no. 12, 2011.

*Received 17 February 2014*