

УДК 622.23.054.53

UDC 622.23.054.53

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРАНУЛ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ**

### **STUDY OF PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF GRANULES FROM PLANT RAW MATERIALS**

Сотников Виктор Георгиевич

к.т.н, доцент

[labnin@yandex.ru](mailto:labnin@yandex.ru)

*Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия*

Sotnikov Viktor Georgievich

Cand.Tech.Sci., Associate Professor

[labnin@yandex.ru](mailto:labnin@yandex.ru)

*Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia*

Ильясов Ильшат Ришатович

Аспирант

*Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия*

Ilyasov Ilshat Rishatovich

Postgraduate Student

*Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia*

Сафин Рушан Гареевич

д.т.н., профессор

*Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия*

Safin Rushan Gareevich

Doctor of Engineering, Professor

*Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia*

Исследованы плотность и прочность гранул растительного сырья в зависимости от дисперсности исходного сырья, его исходной влажности, давления прессования и температуры грануляции. Исследованы возможности добавления пиролизных смол и гидролизного лигнина для повышения прочности гранул растительного сырья

The density and strength of granules of plant raw materials were studied depending on the dispersion of the initial raw material, its initial moisture content, pressing pressure and granulation temperature. The possibilities of adding pyrolysis resins and hydrolysis lignin to increase the strength of granules of plant raw materials were studied

**Ключевые слова:** РАСТИТЕЛЬНОЕ СЫРЬЕ, ПЕРЕРАБОТКА, ГРАНУЛЯЦИЯ, ПРОЧНОСТЬ, ПЛОТНОСТЬ

**Keywords:** PLANT RAW MATERIALS, PROCESSING, GRANULATION, STRENGTH, DENSITY

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-207-030>

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-26-00043, <https://rscf.ru/project/25-26-00043/>

Acknowledgments: The study was supported by the grant of the Russian Science Foundation No. 25-26-00043, <https://rscf.ru/project/25-26-00043/>

**Введение.** Гранулирование предполагает собой преобразование однородной смеси дисперсных частиц в прочные частицы заданной формы. Это улучшает эксплуатационные возможности и срок хранения [1-3]. Для создания аппаратного оформления процесса создания гранул растительного сырья требуется знание физико-механических свойств гранул растительного сырья. В данной работе были исследованы механические параметры гранул высокой плотности, которые были

<http://ej.kubagro.ru/2025/03/pdf/30.pdf>

получены из костры масличного льна [4, 5]. Были исследованы возможности повышения физико-механических свойств гранул путем добавления связующих пиролизной смолы и гидролизного лигнина.

**Методы и материалы исследования.** Получение гранул осуществлялось на грануляторе «ЛМКТехник АгроМастер 2». Влажность исходного сырья составляла 5-35%. Размер частиц 0,5-3 мм. Диаметр гранул 6 мм, расчётное давление при прессовании в матрице гранулятора 60-200 МПа. Статическую прочность гранул определяли по методике в соответствии с ГОСТ 21560.2-82. Требуемая фракция частиц выделялась с помощью ситового анализатора А20. Для грануляции была использована костра масличного льна (регион сбора Томская область), в качестве дополнительных связующих веществ были использованы смола, полученная путем термического разложения органического сырья, и гидролизный лигнин – отход полученный при гидролизации древесины, внешний вид которых представлен на рис 1.

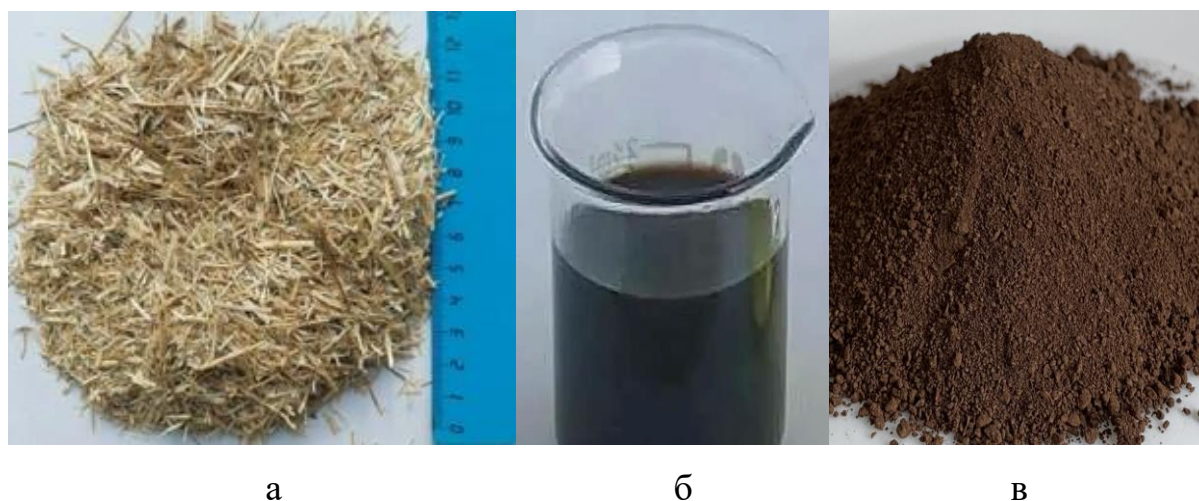


Рис. 1 - Внешний вид: а- костра масличного льна; б- пиролизная смола; в- гидролизный лигнин.

**Результаты исследований.** Ключевым фактором для качественной грануляции является размер частиц сыпучей массы [1]. Для определения наиболее рациональной степени измельчения была проведена серия

экспериментов по гранулированию сыпучей массы костры масличного дисперсностью 0,5 – 3 мм. Влажность сырья была в диапазоне 15 – 18%. На рис. 2 и рис. 3 представлены данные по значениям плотности и статической прочности полученных гранул. Температура сырья при грануляции составила 120 °С, давление прессования 100 МПа.

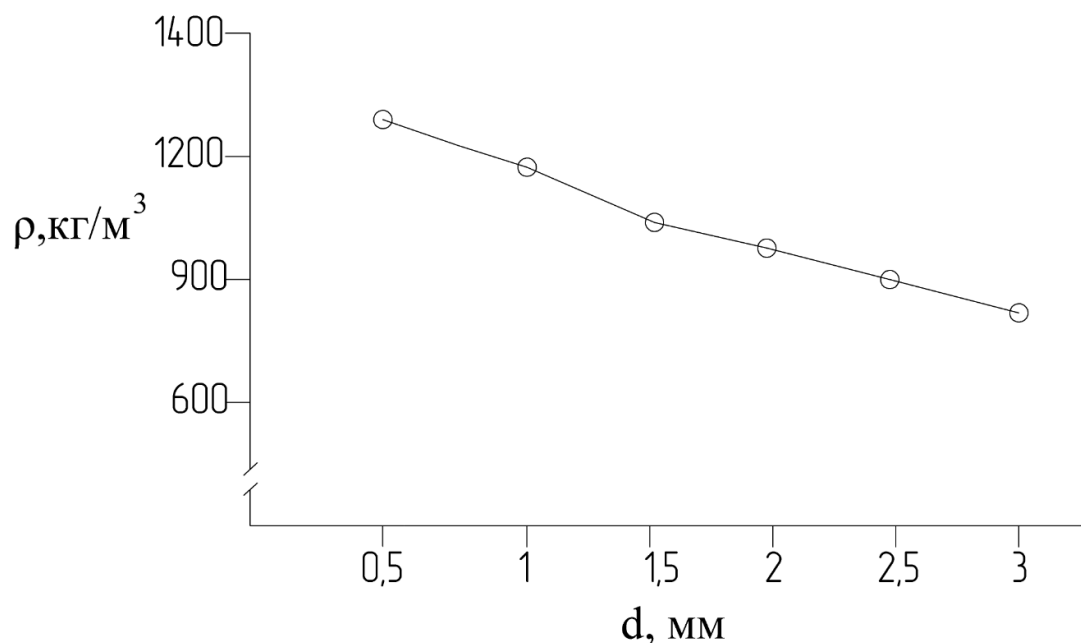


Рис. 2 - Зависимость плотности гранул от размера частиц.

Плотность частиц при грануляции мелкой фракции заметно выше, однако использование фракции менее 1 мм не ведет к дальнейшему повышению качества, а приводит к дополнительным энергозатратам, что подтверждается исследованиями прочности гранул (см. рис. 3).

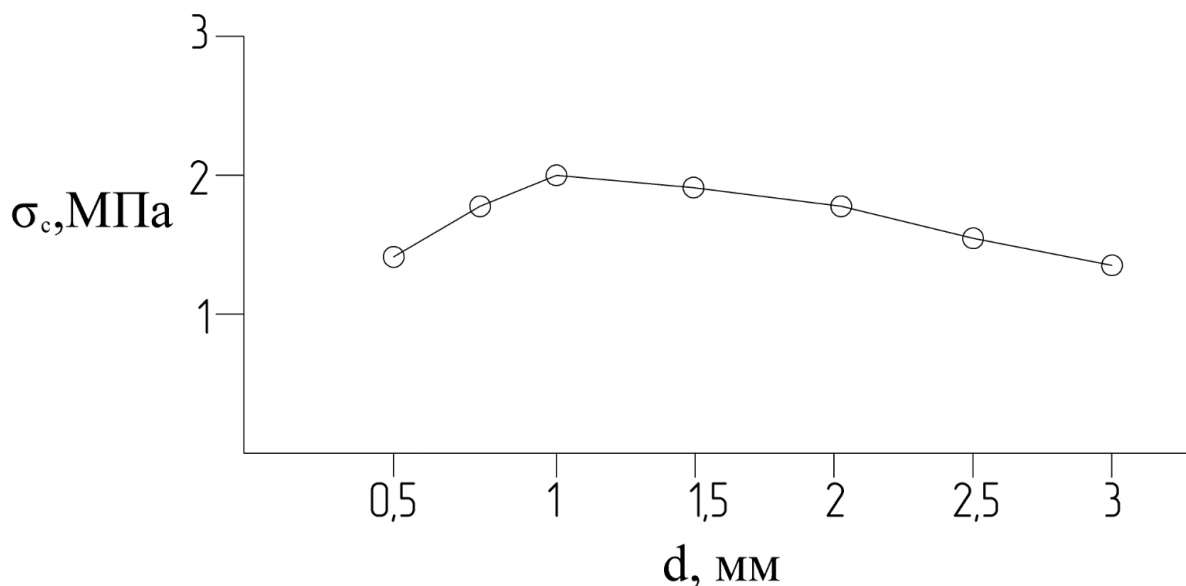


Рис. 3 - Зависимость статической прочности гранул от размеров частиц.

Анализ приведенной зависимости, показал, что грануляция фракции размером частиц 1 мм имеет лучшие прочностные характеристики и подойдет для получения топливных гранул. Грануляция частиц 2-3 мм целесообразна при формировании комбикормов.

Влажность гранулируемого сырья заметно влияет на прочность гранул на рис. 4 представлена зависимость статической прочности гранул растительного сырья от влажности гранулируемой растительной смеси. В эксперименте была использована фракция с размерами частиц 1 мм. Гранулы были получены при температуре сырья 80 °С под давлением прессования 100 МПа.

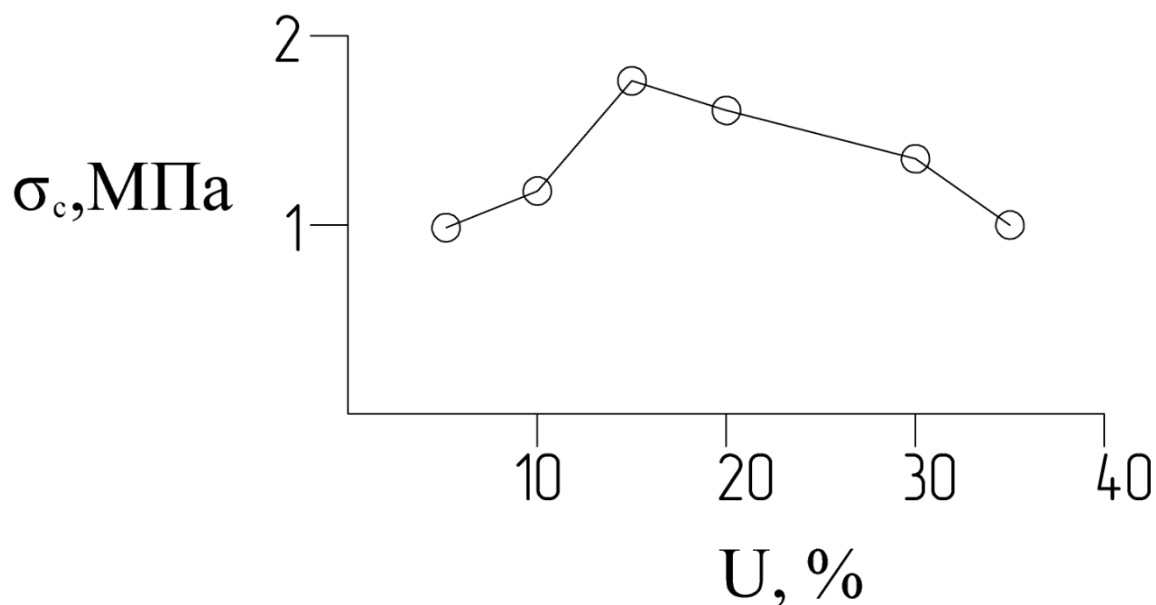


Рис. 4 - Зависимость статической прочности гранул растительного сырья.

Вода, содержащаяся в сырье, способствует связыванию частиц при гранулировании за счет поверхностного натяжения. Однако, как видно из рис. 4, как избыток, так и недостаток влаги ведут к уменьшению прочности гранул из костры льна. Высокие значения влажности в сырье снижают трение в грануляторе, сухие гранулы будут хрупкими. Так для костры льна, исходя из анализа данных рис. 4, влажность в 15% наиболее целесообразна для получения прочных топливных гранул.

Давление грануляции наиболее важный регулируемый параметр, зависящий от типа гранулятора [3]. Плотность и прочность гранул сильно зависят от давления прессования. На рис. 5 представлены результаты исследований по плотности гранул при различном давлении грануляции частиц костры льна размером 1 мм. Гранулы были получены при температуре сырья 80 °С и влажности сырья 15%.

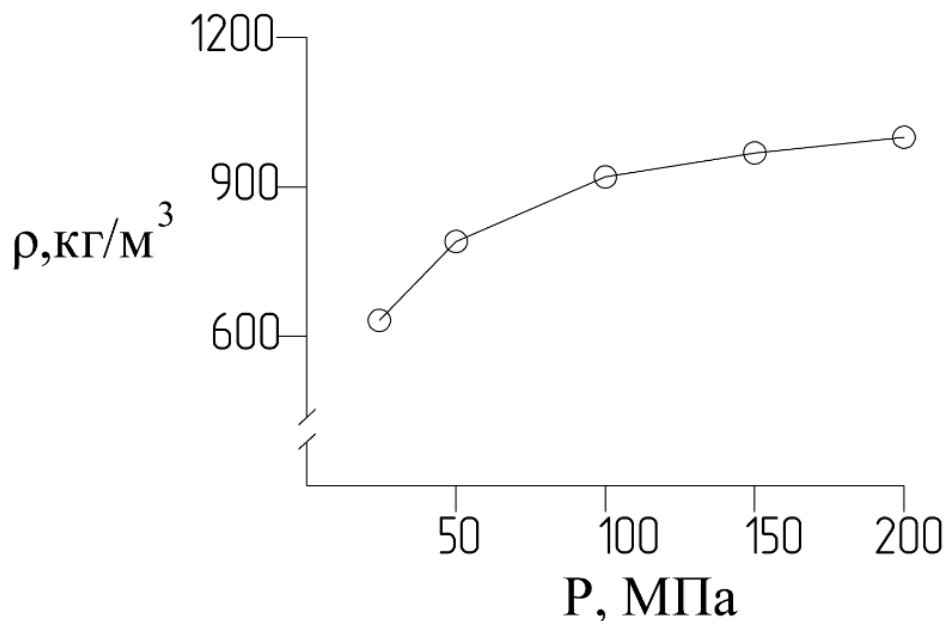


Рис. 5 - Зависимость плотности гранул от давления прессования смеси частиц.

Анализ результатов исследования показал, что давление прессования сильно влияет на конечную плотность гранул. Повышение давления целесообразно до 100 МПа, дальнейшее повышение давления не приводит к значительным повышениям плотности, но при этом затрачивается значительно большее количество энергии.

Полученные гранулы из костры льна имеют высокую плотность и могут быть использованы в качестве топливных гранул.

Перспективной также может быть термическая прокалка гранул с возможностью получения адсорбента [5]. При данном использовании возможно добавление термически разлагаемых связующих. Было получено несколько типов гранул с тремя видами связующего вещества: пиролизной смолой; гидролизного лигнина, смесью гидролизного лигнина с пиролизной смолой в соотношении 1:1.

На рис. 6 представлены результаты статической прочности гранул в зависимости от концентрации связующего вещества. Температура при грануляции составляла 180 °С, давление прессования 100 МПа.

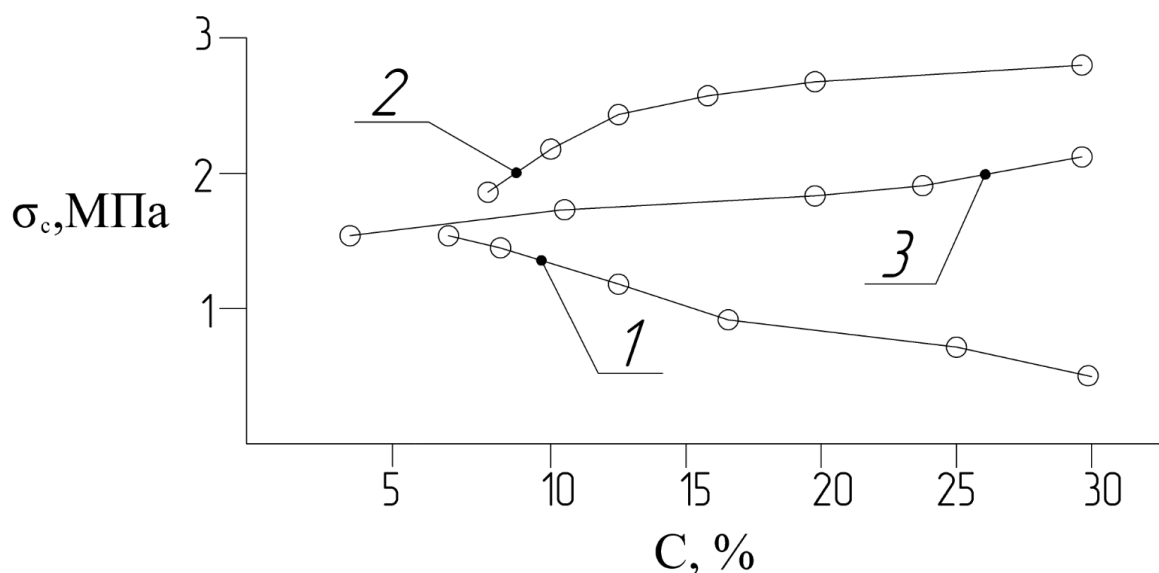


Рис. 6 - Зависимость прочности гранул, от концентрации и вида связующего вещества: 1 - пиролизная смола; 2 - гидролизный лигнин; 3 - смесь гидролизного лигнина и пиролизной смолы.

Анализ зависимости показал, что статическая прочность гранул с пиролизной смолой довольно низкая, уменьшение доли смолы позволяет повысить статическую прочность, однако очевидно, что смола влияет на процесс грануляции аналогично избыточной влаге. Использование гидролизного лигнина в качестве связующего положительно сказывается на прочности гранул.

**Выводы.** Установлено, что совместное использование пиролизной смолы и гидролизного лигнина в качестве связующего позволило получить гранулы с высокой статической прочностью, что свидетельствует о возможности полной утилизации пиролизной смолы без значительного снижения статической прочности гранул, так смола в таком случае

выступает в качестве дополнительной органической массы. Дальнейшая термическая конверсия позволит получить уголь с развитой структурой пор с высоким удельным выходом [5].

### Библиографический список

1. Nielsen S. K., Mando M., Rosenorn A. B. Review of die design and process parameters in the biomass pelleting process. *Powder Technology*. 2020; 364: 971-985. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.10.051>
2. Harun N. Y., Afzal M. Effect on particle size on mechanical properties of pellets made from biomass. *Procedia Engineering*. 2016; 148:93-99. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.445>
3. Agar D. A., Rudolfsson M., Kalen G., Campargue M., Perez D. D. S., Larsson S. H. A systematic study of ring-die pellet production from forest and agricultural biomass. *Fuel Processing Technology*. 2018; 180:47-55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2018.08.006>
4. Сафин, Р. Г. Термическая переработка костры масличного льна в активированный уголь / Р. Г. Сафин, В. Г. Сотников // *Химия растительного сырья*. – 2024. – № 1. – С. 347-353. – DOI 10.14258/jcprm.20240112026
5. Сафин, Р. Г. Характеристики гранулированного активированного угля из смеси отходов растительного сырья / Р. Г. Сафин, В. Г. Сотников // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2024. – Т. 335, № 7. – С. 196-205. – DOI 10.18799/24131830/2024/7/4386.

### References

1. Nielsen S. K., Mando M., Rosenorn A. B. Review of die design and process parameters in the biomass pelleting process. *Powder Technology*. 2020; 364: 971-985. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.10.051>
2. Harun N. Y., Afzal M. Effect on particle size on mechanical properties of pellets made from biomass. *Procedia Engineering*. 2016; 148:93-99. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.445>
3. Agar D. A., Rudolfsson M., Kalen G., Campargue M., Perez D. D. S., Larsson S. H. A systematic study of ring-die pellet production from forest and agricultural biomass. *Fuel Processing Technology*. 2018; 180:47-55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2018.08.006>
4. Safin, R. G. Termicheskaja pererabotka kostry maslichnogo l'na v aktivirovannyj ugol' / R. G. Safin, V. G. Sotnikov // *Himija rastitel'nogo syr'ja*. – 2024. – № 1. – С. 347-353. – DOI 10.14258/jcprm.20240112026
5. Safin, R. G. Harakteristiki granulirovannogo aktivirovannogo uglja iz smesi othodov rastitel'nogo syr'ja / R. G. Safin, V. G. Sotnikov // *Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. – 2024. – Т. 335, № 7. – С. 196-205. – DOI 10.18799/24131830/2024/7/4386.