



## Equipment and Machines for the Production of Foam Glass Materials and Composite Products

Krasimira TONCHEVA, Lyuben LAKOV, Bojidar JIVOV, Marieta GACHEVA,  
Gergana MUTAFCHIEVA, Gabriel PEEV, Dimo MIHAYLOV

Bulgarian Academy of Sciences, Institute of Metal Science, Equipment and Technologies  
with Hydro- and Aerodynamics Centre “Acad. A. Balevski”,  
67, “Shipchenski Prohod” Blvd, 1574 Sofia, Bulgaria,  
e-mail: [krasiton4@abv.bg](mailto:krasiton4@abv.bg)

### Abstract

The characteristics of standard and developed innovative machines and equipment based on Bulgarian inventions, protected by patents and applicable to the production of foam glass materials (with a cellular structure), obtained by recycling waste silicate raw materials, were examined. Original design solutions are proposed, allowing more efficient execution of individual technological stages of the production cycle. A technological approach for obtaining a diverse assortment of non-combustible, waterproof and durable composite products prepared with the participation of foam glass granules and inorganic binders is presented. The organization of the production process complies with the requirements for ensuring safe working conditions, compliance with existing environmental norms and prevention of the release of harmful and toxic products into the environment. The main possibilities for potential application of the developed materials for the construction of external thermal insulation systems of buildings (of different types), insulation of the areas around doors and windows and various equipment have been analysed.

**Keywords:** waste glass, sodium silicate, foam silicate granules

## Съоръжения и машини за производство на пеностъкленни материали и композитни изделия

Красимира ТОНЧЕВА, Любен ЛАКОВ, Божидар ЖИВОВ, Мариета ГАЧЕВА,  
Гергана МУТАФЧИЕВА, Габриел ПЕЕВ, Димо МИХАЙЛОВ

### 1. Увод

Голяма част от изградените в миналото масивни сгради (от различен тип) с разнообразно функционално предназначение, подлежат на саниране и реновиране [1]. В това отношение изключително съществен е делът на построените в страната (през втората половина на XX век) многофамилни жилищни сгради от панелен тип, съсредоточени в крупни жилищни комплекси в градовете. Понастоящем се извършва монтаж на топлоизолационни плоскости (XPS, EPS и други), предимно на отделни части от сгради, което има ограничен енергоспестяващ ефект [1] и същевременно оказва неестетичен ефект на фасадите.

Голяма част от широко прилаганите топлоизолационни материали (активно използвани и при строителството на нови сгради) се характеризират с относително ниска устойчивост в условия на пожари [1-4] и ограничен експлоатационен срок. Това съществено понижава сигурността на сградите и обуславя необходимостта от подмяна на топлоизолационните системи след определен експлоатационен период.

Интензивното нарастване на промишленото производство, увеличената активност в сектора на услугите и въздействието на битовите потребители са съпроводени с

увеличаване на количествата разнообразни отпадъчни продукти [5,6]. Като оптимална насока за съвременното развитие на редица отрасли се разглежда приложението на енергоефективни чисти технологии за оползотворяване на отпадъчни материали [5-10], в ролята на изходни суровини за производството на пълноценни изделия. Целесъобразен технологичен и екологичен подход представлява рециклирането на значителни количества отпадъчни стъкловидни материали, поради техните подходящи физикохимични характеристики, дълготрайност и устойчивост в естествена среда [11-16]. В промишлени условия са внедрени производствени методи за оползотворяване на отпадъчни стъкловидни суровини за производство на пеностъклени материали [11], които намират приложение под формата на разнообразни продукти: гранули, чакъл, плоскости за топлоизолация на сгради, профили за термична изолация на оборудване и други. Употребата на топлоизолационни пеностъклени материали при строежа на нови и реновиране на съществуващи сгради отстранява необходимост за подмяна на топлоизолационната система в рамките на целия експлоатационен цикъл на обекта [11].

Същевременно са разработени иновативни композитни материали с участието на гранулирано пеностъкло и неорганични свързващи вещества [17-21]. Изготвените композити представляват потенциална конкурентна алтернатива [17-19] на редица традиционни и стандартни топлоизолационни продукти за строителството. За по-нататъшното модифициране на материала са разгледани редица аспекти на получените лабораторни данни от различни тематични насоки [22-29]. Перспективна възможност за допълнително функционално развитие на композита [20] е разработването на продукти с по-специализирано предназначение, като пожароустойчиви изолационни елементи и други.

Цел на настоящата работа представлява определянето на необходимия основен машинен парк, приложим за рециклиране на отпадъчни стъклени суровини и производството на гранулирано пеностъкло и силикатни композитни продукти в условията на конкретно промишлено предприятие (бенефициент). Извършената дейност е съобразена с планираните етапи на утвърдено проектно предложение (на конкурсен принцип), предвиждащо подбор на адекватно оборудване, разработване на иновативни съоръжения, рецептурни състави и рентабилен технологичен режим за производство на асортимент от негорими дълготрайни изделия, удовлетворяващи съвременните изисквания за енергоефективно строителство и пожарна безопасност.

## **2. Съоръжения и технологични етапи**

Разгледаният машинен парк от стандартни и иновативни съоръжения осигурява необходимото допълнително оборудване на предприятието за разширяване на неговите технологични възможности за самостоятелно рециклиране на отпадъчно стъкло и рентабилно производство на различни фракции пеносиликатни гранули и асортимент композитни изделия, приложими в строителството. Представеният комплекс от високопроизводително оборудване позволява изграждането на технологична линия със специализирани клонове за пълноценно провеждане на отделните етапи на технологичния процес. Допълнителни производствени възможности и по-висока ефективност осигуряват съоръженията проектирани на базата на иновативни конструктивни решения, които повишават някои неудовлетворителни технико-експлоатационни характеристики на предходни поколения машини. Осъществяването на планираната производствена дейност в промишлени условия предвижда активната експлоатация на съществуващата заводска инфраструктура и складово-логистична база, както и обособяване на допълнителен специализиран участък. Характеристиките на съоръженията и организацията на производствения процес са съобразени с

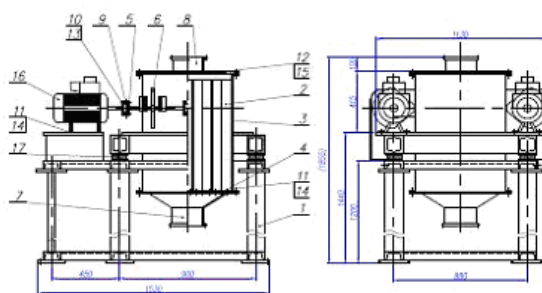
изискванията за осигуряване на безопасни условия на труд, спазване на действащите в страната екологични норми и предотвратяване на освобождаването на вредни емисии и токсични продукти в околната среда при провеждане на технологичните етапи. Обработката, транспортът и съхраняването на подложената на смилане до прахообразно състояние стъкловидна суровина се осъществява в затворени съоръжения при наличие на аспирационни системи за ефективно обезпрашаване в работните помещения. Същевременно в производствения процес се предвижда употребата на модифициран първичен суров гранулат с по-ниски прахови емисии.

**А. Създаване и изпробване на машини и съоръжения за подготовка на суровината за производство – различен вид трошачки, мелници, хомогенизатори, гранулатори.**

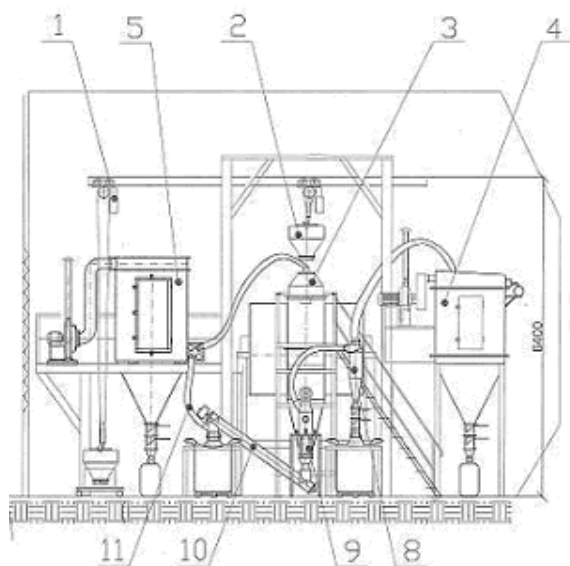
Процесът на деструктуриране на изходната суровина е много важен за получаване на качествен продукт.



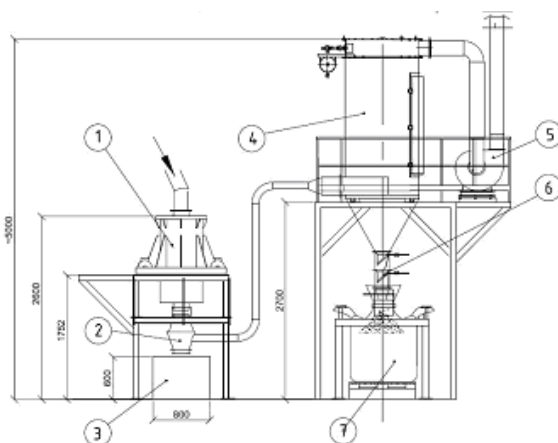
**Фиг. 1. Топкова мелница за 1 тон суровина**



**Фиг 2. Иновативна вибрационна мелница с производителност 250 кг /час-**



а



б

**Фиг. 3. Мелничен комплекс за: а) топкова мелница: б) вибрационна мелница**

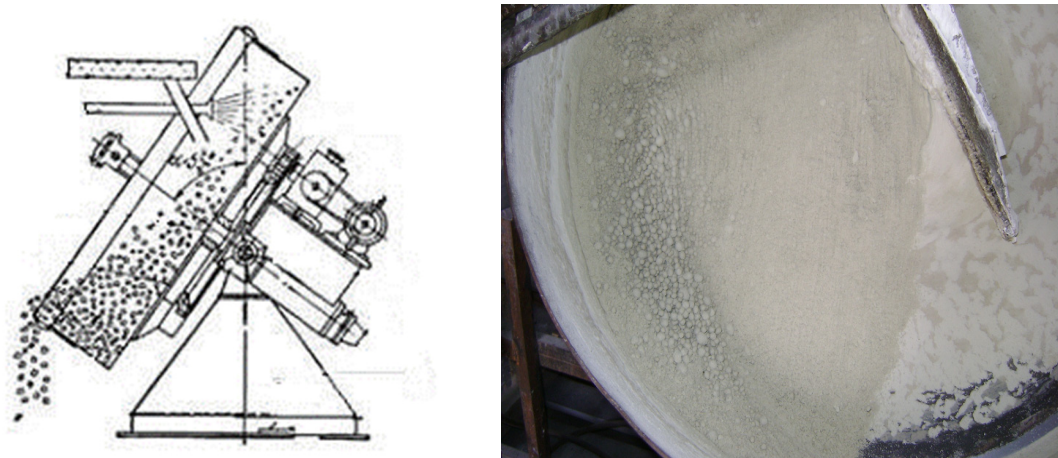
Стъклените отпадъци от различен тип се натрошават с трошачки на късчета от около 5 – 10 мм и след това се смилат на прах в подходяща мелница различен вид –

топкова – фиг.1, вибрационна фиг.2 или друга. Най-важно е мелещите тела и стените на мелниците да са изолирани с неметални твърди материали като корунд, кремък и други. Мелниците са само елемент от мелничния комплекс фиг.3, осигуряващ смилането до определена едрина на материала – в случая до частици с размери до 63 микрона – или до разгъната площ 5500 – 6000 м<sup>2</sup>/g.

След смилането се извършва хомогенизиране на суровината с пенителя или в последния етап на меленето или в отделна мелница – хомогенизатор. От различните видове пенители е подбрана комбинация от глицерин и водно стъкло в определено съотношение.

Поради замърсяване на движещите части на съоръженията и от дълги експерименти се стигна до извода да се получават пеностъклени материали не от подготвения прах, а от сурови гранули, получавани в гранулатор, изсушавани в подходяща сушилня и след това разпенвани – за плоскост или самостоятелно използвани гранули за композитен материал или за леки бетони. Течния пенител – глицерин и водно стъкло се използва и като свързващо вещество при гранулиране.

Гранулаторът е показан на Фиг.4.



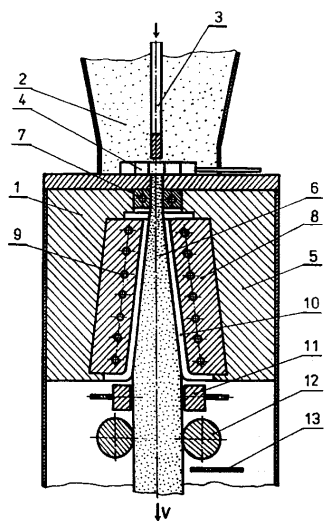
Фиг. 4. Гранулатор – с въртяща се тава за агломериране (свързване на стъклените частици и пенителя.)

**Б. Развитие на конструктивната идея за създаване на машини и съоръжения за производство на пеностъкло, защитени с български патенти – предимно хоризонтални и вертикални пещни агрегати.**

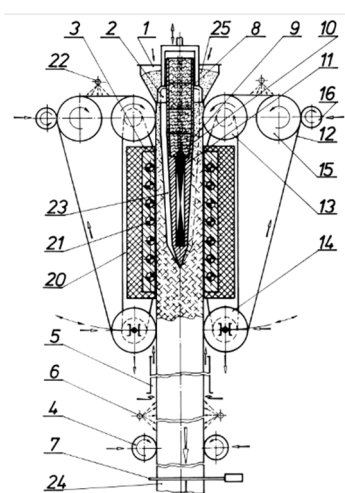
**Б.1.Получаване на масивно пеностъкло във форма на плоскости от непрекъсната лента, получена по вертикален български метод.**

Получаването на пеностъкло става в пещи при нагряване до 700 – 850°C в зависимост от вида на отпадъчното стъкло. Класическия начин за получаване става в хоризонтални пещи тунелен тип. Техния недостатък е големия разход на енергия. Резултатът е скъпо пеностъкло.

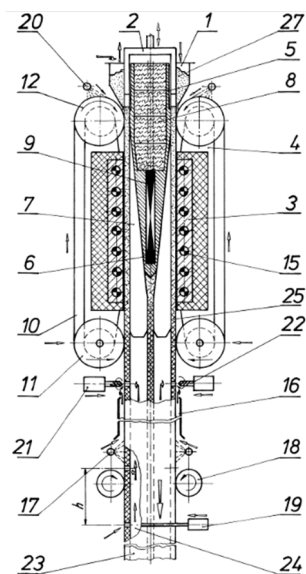
Български учени още 70-те години на 20-ти век създават вертикален метод за получаване на пеностъкло във вертикални шахтови пещи.



Фиг. 5. Изобретение на проф Велев № 51611



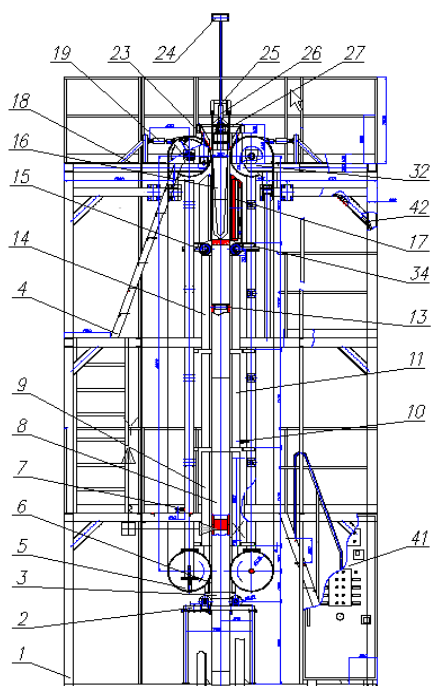
Фиг. 6. Изобретение на авторския колектив № 65718



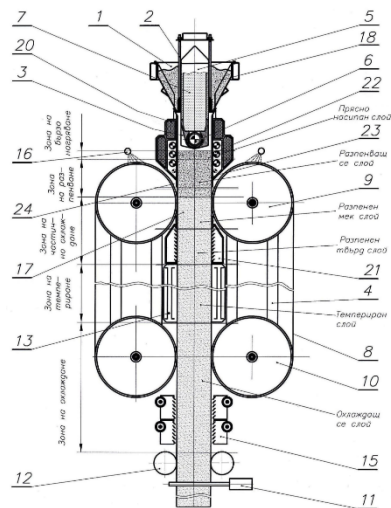
Фиг. 7. Изобретение на авторския колектив № 65745

Колектив от Институт по металознание, секция Неметални материали разработва усъвършенствайки първоначалната идея за вертикално получаване на пеностъклена непрекъсната лента с дебелина до 200 мм – фиг.5, 6 и 7. Въз основа на изобретенията е създаден реален опитен образец на пещта – фиг.8

Въз основа на тези изобретения е направен проект, реализиран 2013 г., като е осъществено експериментално производство на пеностъклена лента.



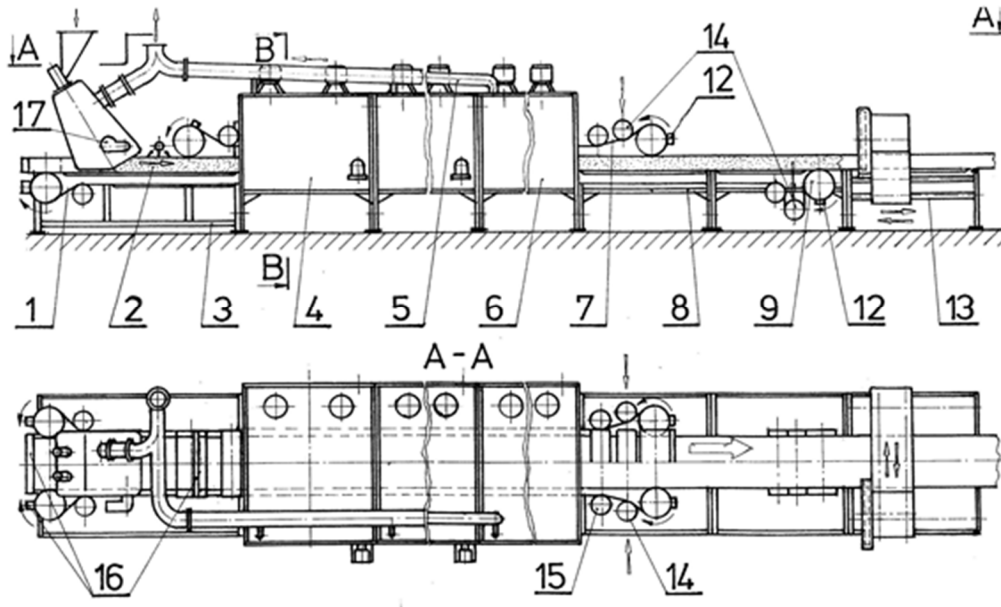
Фиг. 8. Реално изработена и експериментирана вертикална пещ за пеностъклените непрекъснати ленти



**Фиг. 9. Ново техническо решение защитено с патент № 66903 по вертикалния метод за получаване на пеностъклена лента.**

В резултат от опита, натрупан по време на експериментите е създадено и ново конструктивно решение фиг 9. с избегнати някои недостатъци на предишните решения – предимно скъсяване на разпенващата глава.

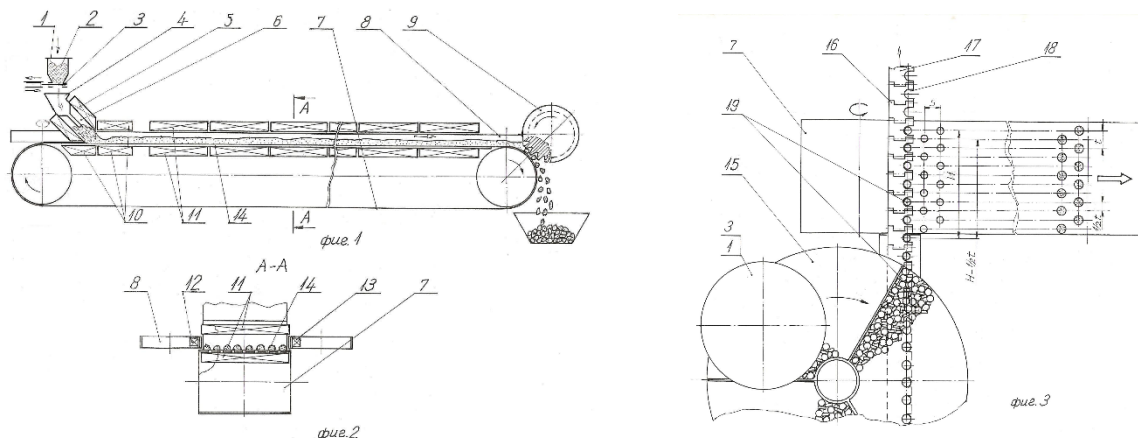
Като комбинация от вертикалния и хоризонталния метод на изпълнение конструкцията на печта е създадено най-новото конструктивно решение, признато на 07.07.2023 г. с изобретение № 67554, където разпенването се осъществява в наклонена разпенваща глава, а другите технологични процеси се осъществяват в хоризонталната част на уредбата – фиг.10.



**Фиг. 10. Техническо решение на печ, работеща по комбиниран метод за получаване на пеностъклена лента с наклонена разпенваща глава поз. 17 – изобретение, защитено с патент № 67554.**

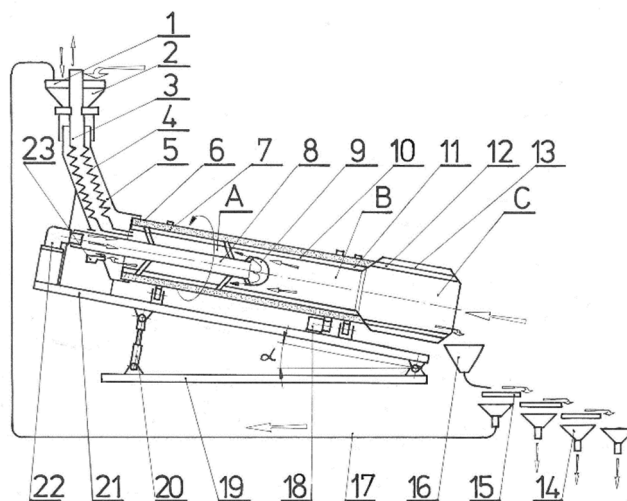
**Б.2. Получаване на пеностъкло във форма на гранули** за получаване на композитни изделия – плоскости, полутръби, „П“ образни изделия за преминаване на тръбна и проводникова сградна комуникация, масивни блокове за нарязване на плоскости за изолация или неносещи стени и гранули за изработване на леки бетони.

Освен пеностъкленни плочи са изобретени конструктивни решения за производство на пеностъкленни гранули, чрез които се създават различни по форма и размери строителни елементи от композитен материал – смес от пеностъкленни гранули и циментова свързваща субстанция, плътно опаковаща разпенените гранули, за което също е създадено решение, защитено с патент № 66666. Новите конструкции са представени на фиг. 11.



**Фиг 11. Изобретение за получаване на гранули и късове пеностъкло № 66666**

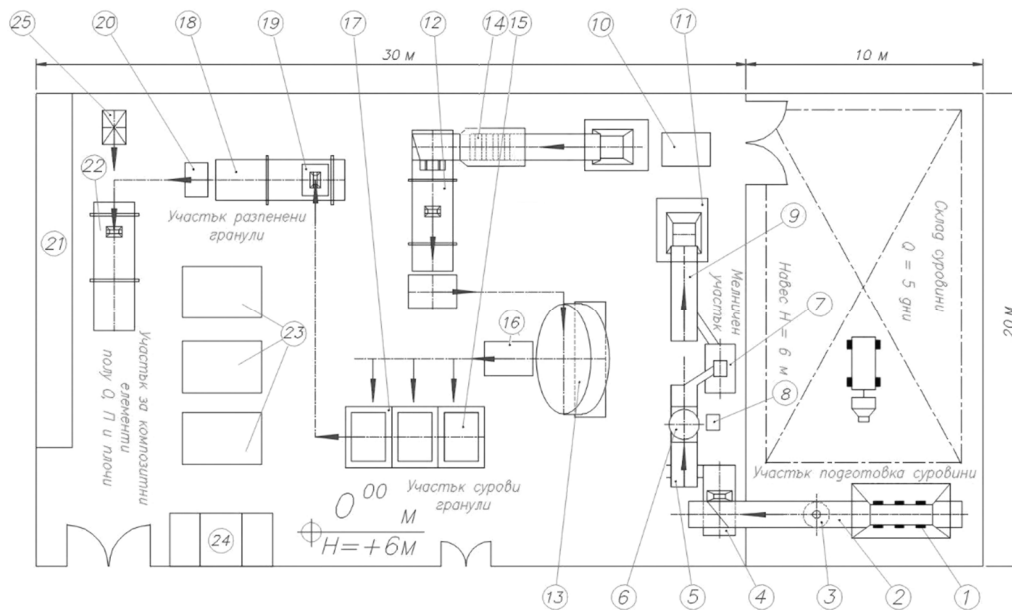
Получените от предходния технологичен етап отделни фракции гранулирано пеностъкло представляват основен компонент за производство на асортимент композитни продукти на базата на хидравлични свързващи вещества (портландцимент, зеолит и други).



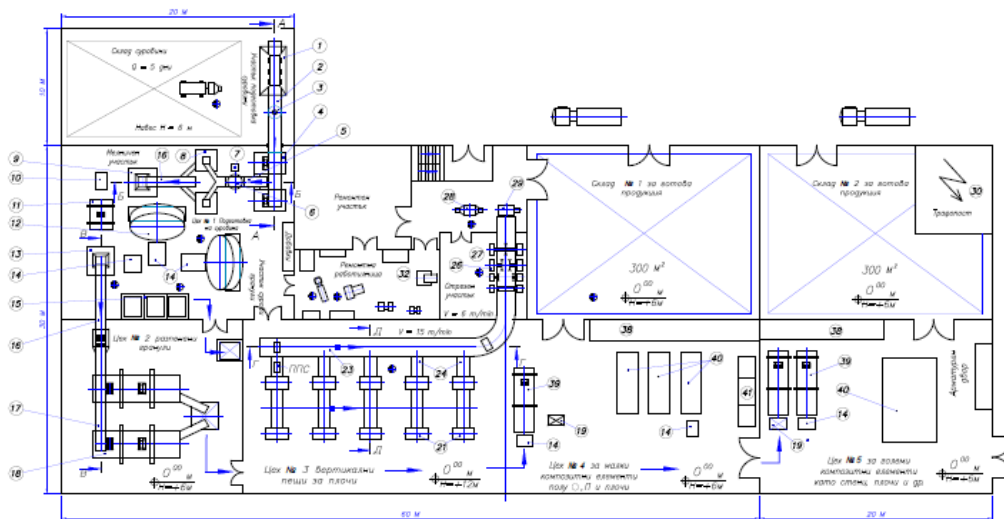
**Фиг. 12. Комбинация от вертикален и хоризонтален метод за получаване на разпенени гранули – патент № 67553**

За изготвяне на разработените различни категории продукти се предвижда въвеждането към първичните рецептурни състави на зеолит и допълнителни компоненти с армираща роля (неорганични фибри) или топлоизолационни

характеристики (леки порести насипни материали, фракции до няколко mm). Подготовката на изходните състави, формоването на полуфабрикатите и окончателната обработка на крайните изделия се осъществява в обособен самостоятелен технологичен участък, оборудван със специализиран набор кофражни иновативни матрици. Отделните етапи на технологичния процес при производството на композитните продукти са разгледани подробно в предходни публикации [17, 18] и не представляват предмет на настоящата работа.



а



б

**Фиг.13.Технологични линии за производство на пеностъклени материали:  
а) опитен цех; б) редовен цех за производство**

Създадена е опитна технологична линия и цех за редовна експлоатация (фиг 13) за производство на масивни плоскости и гранули от пеностъкло и строителни изделия от композитен материал [30, 31].

Специфичните експлоатационни характеристики на преобладаващите компоненти в композитния материал (пеносиликатни агрегати с клетъчна структура и циментова фаза), позволява изготвянето на незапалими, дълготрайни, водоустойчиви топло- и звукоизолационни плоскости, профили и специални изолационни елементи (за монтаж около врати и прозорци), отговарящи на строително-техническите правила и норми за осигуряване на безопасност при пожар.

### **3. Изводи**

Представени са основните иновативни съоръжения, създадени по български патенти с показано развитие на иновативната идея, необходими за основно оборудване на промишлено предприятие и разширяване на неговите технологични възможности за самостоятелно рециклиране на отпадъчни стъкловидни суровини, производство на гранулирано пеностъкло и асортимент от композитни плоскости, профили и специализирани изолационни елементи, приложими в съвременното строителство.

Техническите характеристики на съоръжения и организирането на производствения процес са съобразени с изискванията за осигуряване на безопасни условия на труд и спазване на съществуващите екологични норми в страната. Предвидени са контролирана и безопасна обработката, транспорт и съхранение на прахообразните фракции на получените суровини и полуфабрикати в хода на целия производствен процес.

По-висока ефективност осигурява прилагането на разработените иновативни съоръжения с повишена производителност, спрямо предходни поколения оборудване.

Проектирана е технологична линия (със специализирани клонове), съвместима с общия производствен потенциал на бенефициента и капацитета на неговата логистична база. Спецификата на технологичния процес позволява частично интегриране на необходимото оборудване в съществуващата заводска инфраструктура, но същевременно изисква допълнително изграждане на обособен специализиран производствен участък.

### **Благодарности**

Авторите изказват своята благодарност на Националния иновационен фонд и Изпълнителната агенция за насърчаване на малките и средните предприятия към Министерството на икономиката на Република България за финансиране на научно-приложен проект / договор № 13 ИФ-02-21/12.12.2022 г. между възложител ИАНМСП и изпълнители – бенефициент „МАГ“ ООД с партньор ИМСТЦХА-БАН „Акад. А. Балеvски“.

### **Литература**

1. Savov R., D. Nazarski, “Energy Efficiency, Thermal insulation systems of buildings, Publishing house”, “ABC Technic”, Sofia, 2006.
2. Jelle B. P., “Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – Properties, requirements and possibilities”, Energy and Buildings, Vol. 43, Issue 10, 2011, pp. 2549-2563.
3. Aditya L., T. M. I. Mahlia, B. Rismanchi, H. M. Ng, M. H. Hasan, H. S. C. Metselaar, Oki Muraza, H. B. Aditya, “A review on insulation materials for energy conservation in buildings”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 73, 2017, pp. 1352-1365.

4. Hill C., A. Norton, J. Dibdiakova, "A comparison of the environmental impacts of different categories of insulation materials", *Energy and Buildings*, Vol. 162, 2018, pp. 12-20.
5. Demirbas A., "Waste management, waste resource facilities and waste conversion processes", *Energy Conversion & Management*, 52(2), 2011, pp. 1280-1287.
6. Amasuomo E., J. Baird, "The Concept of Waste and Waste Management", *Journal of Management and Sustainability*; Vol. 6, No. 4; 2016, pp. 88-96.
7. Velenturf A. P. M., P. Purnell, "Resource Recovery from Waste: Restoring the Balance between Resource Scarcity and Waste Overload", *Sustainability*, 2017, 9, 1603, pp. 1-17.
8. Degli Antoni G., G. Vittucci Marzetti, "Recycling and waste generation: an estimate of the source reduction effect of recycling programs", *Ecol. Econ.*, 161, 2019, pp. 321–329.
9. Trinca A., V. Segneri, T. Mpouras, N. Libardi, G. Vilardi, "Recovery of Solid Waste in Industrial and Environmental Processes", *Energies*, 2022, 15, 7418, pp. 1-5.
10. Medici F., "Recovery of Waste Materials: Technological Research and Industrial Scale-Up", *Materials*, 2022, 15, 685, pp. 1-3
11. Toncheva K., "Creation and research of a blowing section of a system for obtaining a continuous strip of foam glass", PhD Dissertation, Sofia, 2014, p. 168.
12. Chorbov I., K. Toncheva, L. Lakov, "Device for obtaining foam glass granules", Patent № 66666/06.06.2012. Status-Valid, Place of application Bulgaria.
13. Lakov L., K. Toncheva, A. Staneva, T. Simeonova, Z. Ilcheva, "Composition, synthesis and properties of insulation foam glass obtained from packing glass waste", *Journal University of Chemical Technology and Metallurgy* 48, 2, 2013, pp. 125–129.
14. Lakov L., K. Toncheva, "Device for obtaining foam glass", Patent № 66903 B1, 2019, Status – Valid, Place of application Bulgaria.
15. Chorbov I., L. Lakov, K. Toncheva, L. Drenchev, N. Guo, H. Shi, "Device for obtaining foamed granules from composite material", Patent application № BG /P/2020/113247 dated 21.10.2020, Status – in examination, Place of application Bulgaria.
16. Chorbov I., L. Lakov, K. Toncheva, L. Drenchev, N. Guo, H. Shi, "Device for obtaining a continuous plane of foamed composite material", Patent application № BG/P/2020/113248 dated 21.10.2020, Status – in examination, Place of application Bulgaria.
17. Lakov L., B. Jivov, M. Aleksandrova, Y. Ivanova, K. Toncheva, "An innovative composite material based on sintered glass foam granules", *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 53, 6, 2018, pp. 1081-1086.
18. Lakov L., B. Jivov, Y. Ivanova, S. Yordanov, M. Marinov, S. Rafailov, "Composite Materials Obtained from Foamed Silicate Products", *International Journal "NDT Days"*, Volume II, Issue 2, Year 2019, pp. 188-194.
19. Lakov L., L. Drenchev, D. Nazarski, "Composite thermal insulation material", Patent № 66960 B1, 2019, Status-valid, Place of application Bulgaria.
20. Lakov L., B. Jivov, Y. Ivanova, S. Yordanov, K. Toncheva, "Alternative possibilities for application of foamed silicate materials", *International Scientific Journal "Machines. Technologies. Materials"* Issue 1/2021, pp. 25-27.
21. Lakov L., B. Jivov, M. Aleksandrova, S. Yordanov, K. Toncheva, "Heat-insulating lightweight concretes and composite materials on the basis of inorganic binders with application in construction", *International Scientific Journal INDUSTRY 4.0*, Year VIII, Issue 2, 2023, pp. 47-51.
22. Brahmane N. S., S. S. Bachhav, "Implementation of value engineering in construction project to reduce time of the project", *International Research Journal of Engineering and Technology*, 7(8), 2020, pp. 1301– 1303.
23. Petkov V., M. Aleksandrova, R. Valov, "Partial oxidation of biocompatible titanium alloy Ti6Al4V during deposition of glassy carbon coating", *International Journal "NDT Days"*, Vol. III, Issue 4, Year 2020, pp. 225-230.
24. Aleksandrova M. M., V. Petkov, V. P. Korzhov, I. S. Zheltyakova, "Study the influence of immersion in the synthesis of thin layers on a composite substrate", *International scientific journal INDUSTRY 4.0*, VII, 6, Scientific technical union of mechanical engineering "INDUSTRY 4.0", Bulgaria, 2022, pp. 226-228.

25. Petkov V., M. Aleksandrova, R. Valov, V. Korzhov, V. Kiiko, T. Stroganova, “Studying the surface and microstructure of a chromium coating with nanodiamond particles deposited on monolithic composite with layered structure”, *International Scientific Journal “Machines. Technologies. Materials”*, Year XVII, Issue 2, 2023, pp. 67-69.
26. Albarbary M. M., A. M. Tahwia, I. Elmasoudi, “Integration between sustainability and value engineering in the production of eco-friendly concrete”, *Sustainability*, 15 (4), 2023, Article 3565.
27. Atabay Ş., “Determination of exterior material in sustainable buildings by value engineering method according to LEED criteria”, *J. Sustain Const. Mater. Technol.*, Vol. 8, Issue. 1, 2023, pp. 1–11.
28. Kalkan Ş. O., L. Gündüz, “Use of pumice aggregate in cementitious rheoplastic lightweight concrete”, *J. Sustain. Const. Mater. Technol.*, Vol. 8, Issue. 1, 2023, pp. 57–65.
29. Abadassi M., Y. El Bitouri, N. Azéma, Eric Garcia-Diaz, “Effect of Excessive Bleeding on the Properties of Cement Mortar”, *Constr. Mater.*, 3, 2023, pp. 164–179.
30. Toncheva, K., Lakov, L., Jivov, B., “Experimental Industrial Unit for Testing of Production Technology for Foam Glass Granules and Elements from Composite Material on this Basis”. *International Journal “NDT Days”*, Volume IV, Issue 4, 2021, ISSN: 2603-4018 eISSN: 2603-4646, 276-285.
31. Lakov, L., Toncheva, K., Jivov, B., Gacheva, M., “Technical Project for Creating a Business Plan for the Construction of a Technological Line and a Plant for the Production of Yellow Pavers”. *International Journal “NDT Days”*, Volume V, Issue 1, Year 2022, 2022, ISSN: 2603-4018, eISSN: 2603-4646, 7-15.