

FRI-1.317-1-MEMBT-05

---

## ENERGY OPTIMIZATION OF FLUIDIZED BED DRYING PROCESSES FOR POWDER DETERGENT<sup>2</sup>

---

**eng. Kaloyan Georgiev - PhD Student**

Department of machine tools and manufacturing

University of Ruse“Angel Kanchev”

Phone: +359 887540046

E-mail: [kaloyan.georgiev@ficosota.com](mailto:kaloyan.georgiev@ficosota.com)

**Assoc. Prof. Tihomir Todorov, PhD**

Department of machine tools and manufacturing

University of Ruse“Angel Kanchev”

Phone: +359 896740500

E-mail: [tmtodorov@uni-ruse.bg](mailto:tmtodorov@uni-ruse.bg)

***Abstract:** The paper presents an analysis of fluidized bed drying processes for powder detergent with a focus on energy efficiency and optimization possibilities. The study examines the structural and operational characteristics of fluidized bed dryers and identifies key factors affecting drying quality, such as temperature, vacuum level, air flow rate, inlet moisture, and drying time. A comparison with spray drying technology is made, outlining its advantages and limitations. Several energy optimization measures are proposed, including automation, intelligent sensors for temperature and moisture control, variable frequency drives for fan motors, and heat recovery systems. Implementing these measures can significantly reduce energy consumption and carbon emissions while improving product quality and sustainability of the production process..*

***Keywords:** Fluidized bed dryer, Powder detergent, Energy efficiency, Process optimization.*

### ВЪВЕДЕНИЕ

В контекста на глобалния стремеж към редуциране на въглеродния отпечатък на индустрията подходи за пестене на енергия се залагат във всеки аспект на съвременното производство и промишленост – в дизайна на процесите и оборудването, в стандартите и практиките, както и в системите за мониторинг и управление. (Energy Review BG (n.d.))

Сред един от най – енергоемките процеси в индустрията е сушенето. Машините за сушене могат да бъдат от различен тип и вид. Според индустрията в която се използват съответно могат да бъдат с директно изпаряване чрез нагряване, с вакуумно изпаряване, чрез горещ въздух и обдухване, чрез охлаждане. ( Georgiev,G. 1982) В частният случай за сушенето на прах за пране се използва сушилни с горещ въздух и обдухване наричана в литературата флуидитизираща сушилни (ZIP Engineering (n.d.)) . Веществото, който се подава на входа представлява каша, наричано в техническите и химически среди slurry. То има относителна влажност спрямо сухото вещество в порядъка от 7% до 10% в зависимост от използваната рецепта и вложените суровини.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

#### 1. Анализ на процес на сушене

Процесът на сушене е един от най-разпространените в природата и промишлеността процеси. Той намира широко приложение в химическата, хранителната промишленост, металургията, дървопреработвателната, селскостопанската и редица други промишлености и

---

<sup>2</sup> Докладът е представен на пленарната сесия на XX октомври 2025 г. с оригинално заглавие на български език:

отрасли. Много често сушенето е основна технологична операция, която определя не само качеството на готовата продукция, но и технико-икономическите показатели на производството като цяло, тъй като за отделяне на влагата от влажни материали е необходимо да се изразходва значително количество енергия. Сушенето е процесът на получаване на сух продукт чрез отделяне на влага от твърди, пастообразни или течни материали. Най-общо под понятието влага се разбира всяка течност, която намокря суха субстанция. Обикновено чрез процеса сушене се отделя водата, съдържаща се във влажните тела, поради което понятията сушене и обезводняване се отъждествяват, макар че първото от тях е по общо. (Georgiev, G . 1982, Cholakov, G. 2006, ZIP Engineering (n.d.))

Флуидизиращите сушилни използват явлението „кипящ слой“, при което газов поток с определена скорост преминава през перфорирана газоразпределителна решетка и предизвиква суспендиране на твърдите частици. В резултат на това материалът се държи подобно на течност – частиците се движат свободно, осъществявайки интензивен топло и масообмен с въздушния поток. Това води до бързо и равномерно обезводняване, като рискът от локално прегряване и термично увреждане е значително намален. (ZIP Engineering (n.d.))

В зависимост от използваната технология, разходите за енергия могат да достигнат до 15–20% от общите производствени разходи. Затова внедряването на мерки за оптимизация на енергопотреблението е от първостепенно значение.

## 2. Мерки за оптимизация на енергопотреблението

2.1. Оптимизиране на консумация на електроенергия и природен газ- флуидизиращите сушилни изискват значително количество енергия за поддържане на високите скорости на въздушния поток. В разглежданата система инсталираната електрическа мощност е около 235 kW, като допълнително се използват 350–400 kW топлинна енергия под формата на природен газ. Това представлява сериозен разход, особено при непрекъснат режим на работа. Чрез оптимизация на режима може да се постигне намаляване на разхода на електроенергията с около 25% и на природния газ с около 5%, което е икономия със значителен финансов и екологичен ефект.

### 2.2. Сравнение с алтернативни технологии

В практиката най-често алтернатива на флуидизиращите сушилни са спрей-сушилните (кули). Спрей-сушилните осигуряват бързо обезводняване на течни суспензии и разтвори чрез разпръскване на материала в горещ въздух. Те се отличават с по-кратко време на сушене и добра енергийна ефективност при големи партиди. Недостатък е високата инсталационна височина и ограничената гъвкавост за обработка на продукти с различни характеристики. Флуидизиращите сушилни, от своя страна, са по-компактни и подходящи за разнообразни суровини, но обикновено са по-енергоемки. Сравнението показва, че изборът на технология трябва да се базира на конкретните изисквания – производствен капацитет, вид продукт, енергийна цена и качество на крайния резултат. (Kudra, T. (2009), Mujumdar, A.S. (2009))

### 2.3. Възможности за оптимизация

За намаляване на енергопотреблението и повишаване на стабилността на процеса могат да се приложат редица технически и организационни решения:

- Автоматизация на управлението – внедряване на контролни системи, които регулират температурата, дебита и подналягането в реално време;
- Интелигентни сензори – използване на сензори за влага и температура, които дават точна информация за състоянието на продукта в различни зони на сушилнята;
- Рекуперация на топлина – внедряване на топлообменници за утилизация на остатъчната топлина от изходящия въздух;
- Оптимизация на дебита на вентилаторите – използване на честотно регулиране на електродвигателите, което позволява динамично управление на дебита според текущите нужди;

- Предварително обезводняване – въвеждане на механични или термични предсушителни операции.

#### 2.4. Екологичен аспект

Намаляването на консумацията на природен газ и електроенергия води до директно ограничаване на въглеродните емисии. Освен това оптимизацията на процеса намалява количеството дефектна продукция и отпадъци, което също допринася за опазването на околната среда.

### АНАЛИЗ НА ФАКТОРИТЕ ВЛИЯЕЩИ НА КАЧЕСТВОТО НА СУШЕНЕ

За оптимизирането на процеса на сушене от гледна точка на енергийна ефективност е необходимо да се определят и анализират фактори влияещи на качеството на сушене. При направения анализа на литературните данни (Georgiev, G. (1982), Mujumdar, A.S. (2014), Cholakov, G. (2006), Kudra, T. (2009), ZIP Engineering (n.d.)) като най-съществени фактори се оказват следните:

➤ **Температура** – Температурата е един от основните параметри, определящи скоростта на изпаряване на влагата и качеството на продукта. При твърде високи температури съществува риск от термично разлагане на органични компоненти, промяна на цвета или влошаване на физико-химичните свойства. От друга страна, при ниски температури процесът е неефективен и води до остатъчна влага в праха за пране и влошаване на физико-химичните показатели.

➤ **Подналягане в сушилнята** – Подналягането е важен фактор за поддържане на стабилен кипящ слой. Ако подналягането е прекомерно високо, тогава от кипящият слой, започват да отливат неорганизирано фините прахов частици и биват засмукани от аспирацията, което води до директна загуба на готов продукт. При недостатъчно подналягане е възможно да настъпи пропадане на кипящият слой и това да доведе до задръстване на флуидитизиращата сушилня. Това от своя страна ще доведе до спиране на работа и загуби. Следователно регулирането на подналягането е ключов инструмент за осигуряване на стабилност на процеса.

➤ **Дебит на въздуха** - Дебитът на въздуха определя интензивността на топло- и масообменните процеси. При висок дебит се осигурява бързо отнемане на влагата, но същевременно се повишават разходите за енергия за вентилаторите и съществува риск от изнасяне на фини частици. При нисък дебит се получава неравномерно сушене, увеличаване разхода на природен газ и възможност за агрегация на частиците. Оптимизацията на дебита е сред най-съществените мерки за енергийно-ефективна експлоатация на сушилнята.;

➤ **Влажност на входящият продукт** – Началното влагосъдържание на продукта е променлива, която оказва директно влияние върху енергийната консумация. При по-висока влажност е необходимо повече топлина и по-дълго време на сушене.

➤ **Време за сушене** – Времето, за което прахът за пране преминават през сушилната камера, е критично за постигане на баланс между качество и ефективност. По-краткото време означава по-ниска консумация на енергия, но може да доведе до недоизсушени продукти. Прекалено дългото време, обратно, увеличава разходите и може да доведе до прегряване на материала, струпване на купчини в сушилната камера. В практиката се използват математически модели и CFD симулации за определяне на оптималното време на престой

➤ **Баланс на въздуха в сушилнята** – Равномерното разпределение на въздуха в сушилнята осигурява еднакви условия за всички частици от продукта. Нарушеният баланс води до зони с прекомерно или недостатъчно сушене, което се отразява негативно върху плътността и еднородността на праха за пране. Поддържането на правилен баланс изисква както конструктивни решения (подходяща газоразпределителна решетка), така и правилна настройка на клапите за баланс на въздушният поток.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От казаното до тук следва че, основните предизвикателства пред оптимизирането на използваната енергия за сушене са следните:

- ✓ Редуциране на енергийните разходи;
- ✓ Константност на готовият полуфабрикат;
- ✓ Ефективност на производствените партии, с оглед обема им и разполагаемия капацитет;
- ✓ Гъвкавост на производството при разнообразна производствена номенклатура;
- ✓ Редуциране честотата на вземаните проби за контрол;
- ✓ Елиминирание на корекции в производството, чрез автоматизиран контрол на влажността.

## REFERENCES

1. Cholakov, G. (2006) Heat and mass transfer in food industry equipment. Sofia: University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy (UACEG) ( Чолаков, Г. (2006) Топлообмен и масообмен в апаратите на хранителната промишленост. София: УАСГ)
2. Energy Review BG (n.d.) Technologies for reducing energy consumption in industry. Available at: <https://www.energy-review.bg/bg/tehnologii-za-namalyavane-na-energiinata-konsumaciya-v-industriyata/2/1471/> (Accessed: 12 July 2025).Energy Review BG (n.d.) Технологии за намаляване на енергийната консумация в индустрията - <https://www.energy-review.bg/bg/tehnologii-za-namalyavane-na-energiinata-konsumaciya-v-industriyata/2/1471/> ( Accessed: 12 July 2025)
- 3.
4. Georiev,G., (1982) Process and apparat in chemical industry. Part II. Sofia: Technic Press ( Георгиев, Г. (1982) Процеси и апарати в химичната промишленост. Част II. София: Техника
5. Kudra, T. and Mujumdar, A.S. (2009) Advanced drying technologies. 2nd edn. Boca Raton, FL: CRC Press.
6. Mujumdar, A.S. (ed.) (2014) Handbook of industrial drying. 4th edn. Boca Raton, FL: CRC Press.
7. ZIP Engineering (n.d.) Drying installations – technological solutions for drying. Available at: <https://www.zip-engbg.com/node/3> (Accessed: 13 August 2025) (ЗИП Инженеринг (n.d.) Сушилни инсталации – технологични решения за сушене - <https://www.zip-engbg.com/node/3> (Accessed: 13 August 2025)).
8. ZIP Engineering (n.d.) Project “Dryer for quartz sand”. Available at: <https://zip-engbg.com/sites/default/files/2017/01/21/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%20%D1%81%D1%83%D1%88%D0%B8%D0%BB%D0%BD%D1%8F%20%D0%B7%D0%B0%20%D0%BA%D0%B2%D0%B0%D1%80%D1%86%D0%BE%D0%B2%20%D0%BF%D1%8F%D1%81%D1%8A%D0%BA.pdf> (Accessed: 15 August 2025). ( ЗИП Инженеринг (n.d.)
9. Проект „Сушилня за кварцов пясък“ - <https://zip-engbg.com/sites/default/files/2017/01/21/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%20%D1%81%D1%83%D1%88%D0%B8%D0%BB%D0%BD%D1%8F%20%D0%B7%D0%B0%20%D0%BA%D0%B2%D0%B0%D1%80%D1%86%D0%BE%D0%B2%20%D0%BF%D1%8F%D1%81%D1%8A%D0%BA.pdf> (Accessed: 15 August 2025).