

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-12-47-57

Ильин Е.А.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

E-mail: Egor.Ilin.98@bk.ru

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АКТИВИРОВАННОЙ СТРУИ И ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОГО ГРАНУЛЯТОРА

**Аннотация.** Состояние микроклимата при переработке порошкообразных материалов зависит от особенностей технологического процесса, исходных материалов и возможности локализации мелкодисперсной пыли. Основным средством локализации пылевых выделений является местная вытяжная вентиляция, но обычно улавливаемые взвешенные частицы становятся отходами производства. Производство твердых лекарственных форм основано на гранулировании порошкообразных материалов. Для грануляторов с открытым бункером не предусматриваются аспирационные укрытия, что обусловлено особенностями технологических операций и необходимостью ресурсосбережения. Для сохранности исходных материалов, и обеспечения нормируемой чистоты воздуха предлагается использовать подачу приточного воздуха непосредственно в зону загрузки порошкообразного материала. Подобный принцип применяется в местных отсосах (с поддувом, передувки), а также для воздушного душирования рабочих мест. Для создания активированной струи предлагается использовать воздухо-распределитель ВВС однонаправленного действия. В проектной практике используется инженерный метод расчета, основанный на результатах лабораторных исследований завода «Арктос». Для учета влияния условий движения воздушной струи применяется ряд коэффициентов (стеснения, взаимодействия и неизотермичности). Такой метод не может быть использован для случая взаимодействия струи с гранулятором. Инженерные методы расчета местных отсосов, активированных приточными струями, также не могут быть применены, поскольку разработаны для конкретных видов укрытий, например, бортовых отсосов. Методы расчета систем воздушного душирования основаны на закономерностях приточных струй без учета особенностей взаимодействия приточной струи и технологического оборудования. Для совершенствования инженерного метода расчета приточных струй в сложных условиях взаимодействия с технологическим оборудованием и исходным материалом необходимо использовать численный и лабораторный эксперименты. В статье приведены результаты исследований аэродинамических характеристик взаимодействия активированной струи с гранулятором для приготовления твердых лекарственных форм. Полученные, результаты могут быть использованы не только для проектирования климатических систем фармацевтического производства, но также для совершенствования методов расчета локальных систем приточной и вытяжной вентиляции.

**Ключевые слова:** фармацевтическое производство, чистое помещение, гранулятор, мелкодисперсная пыль, активированная струя, численный и лабораторный эксперимент.

**Введение.** Обеспечение нормируемых параметров микроклимата на рабочих местах является основной задачей формирования воздушного режима. В фармацевтическом производстве предъявляется ряд требований для обеспечения не только комфортного пребывания на рабочих местах и обеспечения нормируемой чистоты помещения, но и для предотвращения загрязнения конечной продукции и снижения потерь исходных материалов. Снизить перекрестную контаминацию и обеспечить нормируемые параметры микроклимата в «чистом помещении» необходимо на этапе проектирования систем вентиляции [1, 2]. Особенности технологического процесса исследуемого объекта представлены в работе [3].

Многие исследователи решали задачи рационального способа подачи воздуха для обеспечения нормируемых параметров воздуха за счет по-

дачи активированной приточной струи в рабочую зону [4, 5]. Исследованием аналитического расчета дальнобойности струи занимались многие ученые, такие как В.В. Батулин, Г.М. Позин, М.И. Гримитлин [6]. Важно отметить, что струи, в том числе активированные, существенно влияют на развитие циркуляционных течений и распространение вредных веществ. Обобщение результатов исследований в зависимости от линейных размеров помещения и воздухо-распределителя, влияния ограждающих конструкций технологического оборудования представлены в работе автора [7] в виде зависимости для текущего значения осевой скорости:

$$V_x = \frac{m \cdot L_0}{x \cdot \sqrt{F_0}} \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_H, \quad (1)$$

где  $m$  – скоростной коэффициент воздухо-распределителя (ВР);  $L_0$  – объемный расход воздуха через ВР;  $x$  – расстояние от истечения до места

входа струи в рабочую зону по аэродинамической оси;  $F_0$  – площадь расчетного сечения воздухораспределителя;  $K_c$  – коэффициент стеснения;  $K_v$  – коэффициент взаимодействия;  $K_n$  – коэффициент неизотермичности.

Использование инженерного метода расчета приточных струй на основе уравнения (1) применимо для расчетов воздухообмена и воздухораспределения в помещениях, а также систем воздушного душирования. Во всех таких случаях решение сводится к обеспечению нормируемых параметров в рабочей зоне и/или на рабочем месте, что неприемлемо для исследуемого объекта, когда одновременно с обеспечением нормируемых параметров микроклимата необходимо исключить потери ценного исходного материала.

Работы по предотвращению запыленности воздушной среды проводятся для производств химической, фармацевтической, деревообрабатывающей и других отраслей промышленности. Разработаны конструкции местных отсосов разной степени укрытия для удаления различных видов вредностей. Для повышения эффективности местных отсосов используются, например, конструктивные элементы [7], определенная организация струйных потоков внутри пылезащитной камеры [8], приточные струи для воздушно-струйного экранирования [9]. В инженерных методах расчета местных отсосов, активированных приточной струей, используются результаты лабораторных и численных исследований взаимодействия струи и стока, при этом практически не учитывается влияние оборудования на аэродинамику формирующихся газо-пылевоздушных потоков. Кроме того, в некоторых случаях, исходя из особенностей технологического процесса, например, для фармацевтического производства, использовать местные отсосы не представляется возможным.

Многие виды фармацевтических грануляторов, над пространством которых происходят манипуляции с порошками, не имеют аспирационных укрытий. Часть порошка поступает в открытое пространство помещения. В масштабах нескольких манипуляций с порошком – это незначительный расход, но, если таких операций за день больше 10, то актуальными становятся мероприятия по исключению выноса частиц порошка из гранулятора как с точки зрения ресурсосбережения [10, 11], так и обеспечения требований для «чистых» помещений [12, 13].

Учитывая существенные сложности в изучении аэродинамики и тепломассообмена при взаимодействии различных воздушных потоков с газовыми и пылевыми потоками [14] и конвективными течениями, с технологическим оборудованием, в настоящее время широко используются

не только исследования на опытных лабораторных установках, но и математическое моделирование [15–19]. Сравнительный анализ результатов лабораторных и численных исследований в последующем позволяет разработать инженерные методы расчета струйных течений в сложных условиях их формирования.

Таким образом, целью работы является исследование распределения скорости движения воздуха при взаимодействии активированной приточной струи с гранулятором по результатам лабораторного и численного экспериментов для выбранных расходов воздуха в работе [6]. Для поставленной цели исследований решены следующие задачи:

- на базе завода «Арктос» создана лабораторная установка для выполнения измерений при различных расходах воздуха;

- разработана численная модель натекания активированной струи на гранулятор;

- выполнена статистическая обработка результатов лабораторных исследований;

- на основании обработки результатов исследований предложены зависимости для определения коэффициентов стеснения и влияния гранулятора для совершенствования методики инженерного расчета.

**Материалы и методы.** Объектом исследования является модуль «чистого помещения» (рис. 1), имитирующий помещение класса d по изготовлению гранулированных порошков фармацевтического завода Полисан в масштабе 1:1. На рисунке 2 представлен общий вид фармацевтического гранулятора открытого типа для производства твердых лекарственных форм.

Производство твердых лекарственных форм фармацевтики состоит из следующих этапов: изготовление порошков, гранулирование, изготовление таблеток. На этапе грануляции происходит прессование простых порошков методом засыпки сырья в открытое пространство гранулятора. Как известно [19], в процессе засыпки порошкообразного сырья происходит пылеобразование на рабочем месте (рис. 3).

Для предотвращения перекрестной контаминации, а также в избежание выноса в помещение взвешенных частиц в работе предлагается использовать средства вентиляции, а именно активированную приточную струю для формирования однонаправленного воздушного потока и обеспечения равномерности распределения скоростей при натекании струи на гранулятор, а также для нахождения рационального диапазона скоростей у поверхности гранулятора.

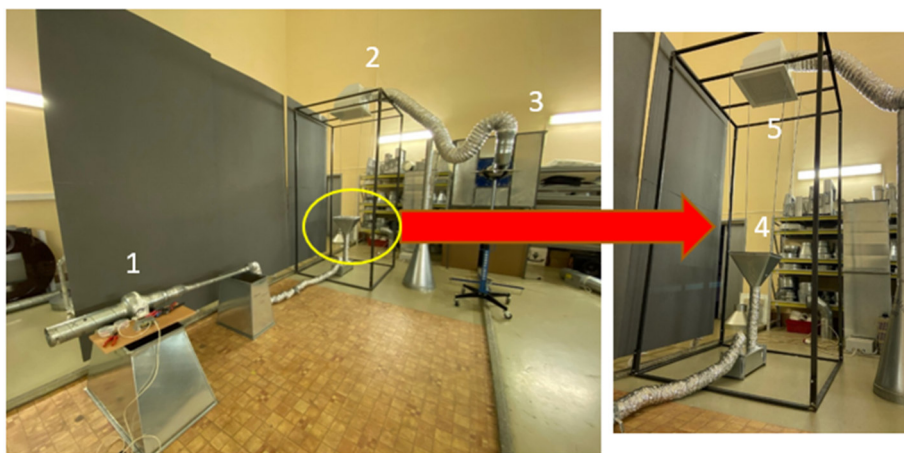


Рис. 1. Лабораторная установка (1 – каналный вентилятор; 2 – модуль помещения; 3 – вентиляционная установка; 4 – имитация гранулятора; 5 – воздухоподогревающий блок)

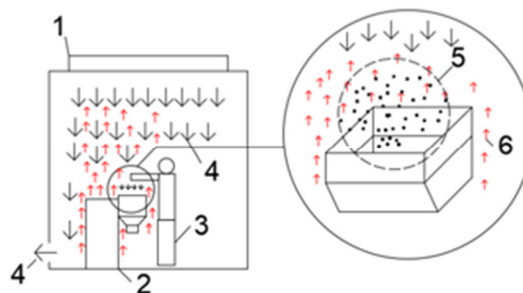
Над местом образования пыли установлен воздухоподогревающий блок с воздухораспределителем ВБС-М размерами 595×595 на расстоянии 2 м от источника. Подача воздуха осуществляется через приточную установку с частотами вентилятора 11 Гц ( $L=150 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) и 19 Гц ( $L=300 \text{ м}^3/\text{ч}$ ). Равномерность и однонаправленность воздуха в рабочей зоне создается за счет воздушного Нерафилтра, установленного в воздухоподогревающем блоке (1 ВБД 595×595 М), предназначенного для чистых помещений [20]. Для измерений использована специальная измерительная система с установкой датчиков воздуха в горизонтальной и вертикальной плоскостях (рис. 4).



Рис.2. Фармацевтический гранулятор открытого типа



Рис. 3. Загрузка сухого материала (порошок)  
1 –воздухораспределитель; 2 – гранулятор; 3 – оператор; 4 – вытяжка; 5 – облако взвешенных частиц; 6 – конвективные потоки от оборудования и оператора



Система измерений включает 8 датчиков скорости движения воздуха на стойке, расстояние между датчиками 10 мм, размещение нижнего датчика 10 мм от поверхности гранулятора. Обработка осуществляется автоматически в компьютерной программе «AirDistSys5000» в течение 3 минут. Температурный режим воздушной струи – изотермический.

Подача воздуха осуществлялась при двух расходах  $L=300 \text{ м}^3$  и  $L=150 \text{ м}^3$  согласно техническим данным в натуральных условиях на рабочих местах завода «Полисан».

Численное моделирование выполнено в программе STAR-CCM+.

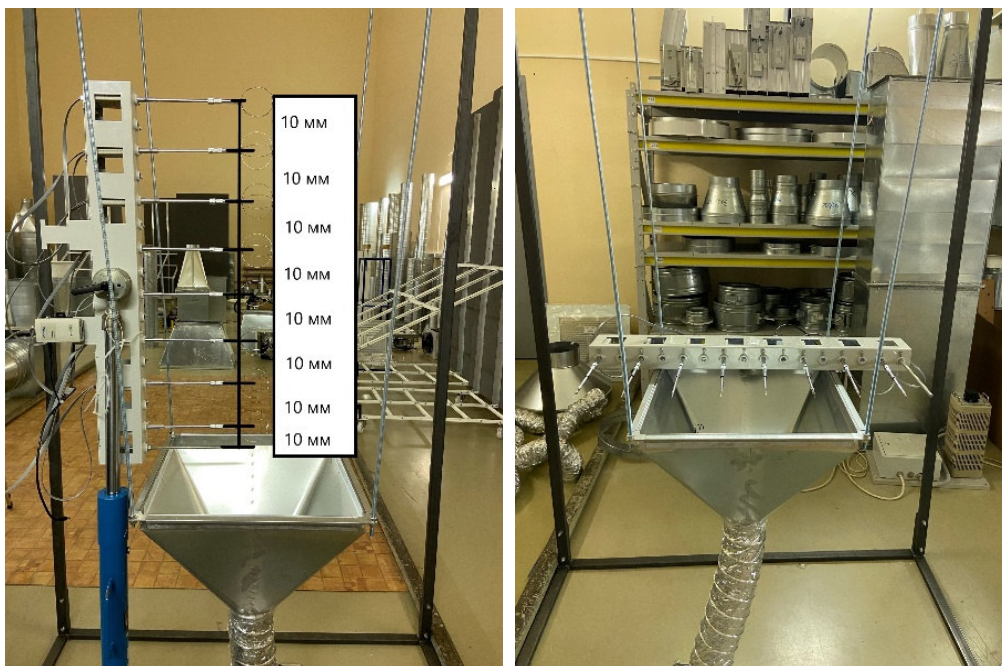


Рис. 4. Расположение датчиков скорости по аэродинамической оси

В основе численного моделирования лежит решение системы дифференциальных уравнений Навье-Стокса, неразрывности, энергии и примесей. В данной работе для замыкания системы уравнений использована  $k-\epsilon$  модель турбулентности:

$$\frac{\partial \bar{p}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{\rho} \bar{u}_i + \bar{\rho}' u'_i) = S_m$$

$$\rho \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) = - \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_j} + \mu \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} \right) + \frac{\partial \tau'_{ij}}{\partial x_j} + S_i$$

$$\frac{\partial (\bar{\rho} \bar{a})}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{\rho} \bar{a} u_i)}{\partial x_j} = - \frac{\partial (\bar{\rho} u'_i a')}{\partial x_j} + \bar{J}_a, \quad (2)$$

где  $t$  – время;  $\rho$  – плотность;  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости;  $\bar{u}_j$  – компоненты вектора осредненной скорости по осям координат;  $\tau'_{ij}$  – турбулентные напряжения (дополнительные напряжения Рейнольдса);  $u'_i, u'_j, T', C'$  – локальные пульсации скорости, температуры и примеси потока;  $\bar{a}$  – осредненные значения удельной плотности скалярной величины;  $S_m, S_i$  – интенсивность источников массы и импульса;  $\bar{J}_a$  – интенсивность источников примеси.

Для выполнения численного моделирования построена прямоугольная сетка с измельчением по аэродинамической оси от плоскости истечения до поверхности гранулятора, расчетное количество ячеек 267009. Физические свойства математической модели представлены на рис. 5.

Граничные условия модели задаются на поверхности подачи и удаления воздуха через массовый расход (табл. 1).

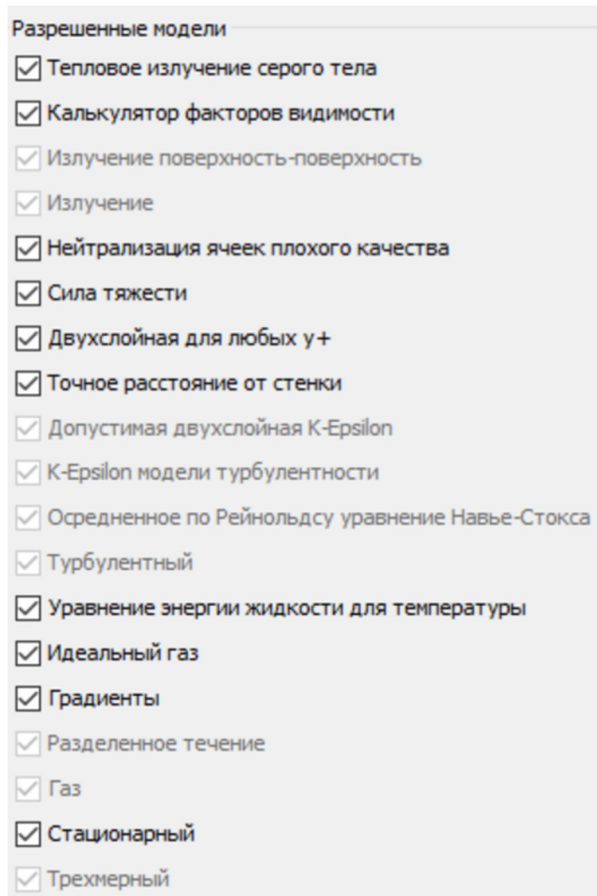


Рис. 5. Физические свойства математического моделирования

На рис. 6 приведены результаты численного моделирования в виде поля скоростей [6] и указанием точек измерений максимальных значений скорости в направлении истечения струи по оси  $x$  (рис.5).

Таблица 1

Граничные условия математического моделирования

Граничные условия	Физическое значение	Количественное значение
При расходе 300 м³/ч (0,083 кг/с)		
Граница (приток)	Массовый расход	0,083
Граница (вытяжка)	Массовый расход	-0,083
При расходе 150 м³/ч (0,042 кг/с)		
Граница (приток)	Массовый расход	0,042
Граница (вытяжка)	Массовый расход	-0,042

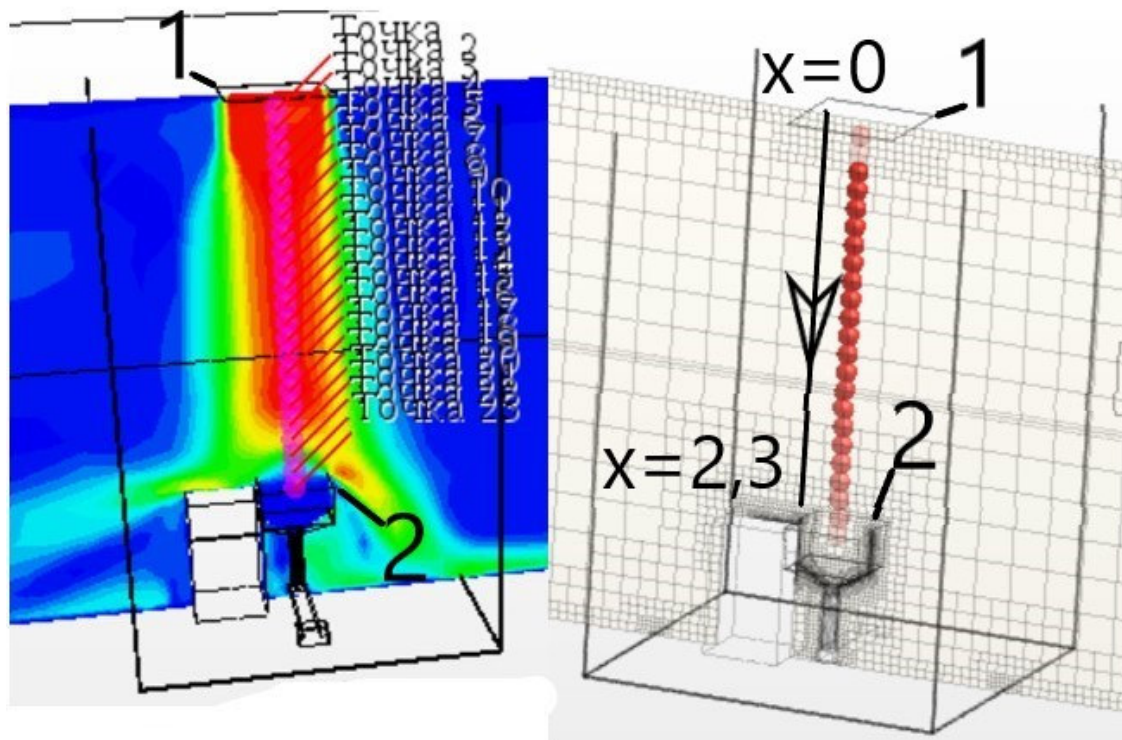


Рис. 6. Математическая модель рассматриваемого модуля «чистого помещения»  
1 – воздухораспределитель, 2 – гранулятор

В качестве инженерного метода расчета используются рекомендации завода «Арктос», которые включены в СП 60.13330.2020 Приложение Ж. Расчет произведен для схемы подачи «сверху вниз коническими струями» для изотермического режима. Таким образом выражение (1) принимает следующий вид:

$$K_c \cdot m = \frac{v_x \cdot x \cdot \sqrt{F_0}}{L_0}, \quad (3)$$

Скоростной коэффициент принят по данным завода «Арктос»  $m=6$  для конических струй, образующихся из прямоточных воздухораспределителей ВВС. В расчете использованы коэффициенты взаимодействия для единичной струи  $K_B=1$  и неизотермичности  $K_H=1$  для изотермического режима течения воздушной рециркуляционной струи. При распределении струи в ограниченном пространстве необходимо учесть коэффициент стеснения. Для нахождения зависимости данного коэффициента от расстояния между

воздухораспределителем и гранулятором  $K_c=f(x)$  выполнена обработка данных СП 60.13330.2020 Приложение Ж (таблица Ж1), которые представлены в виде  $K_c = f \left( \frac{F_0}{(b_0 \cdot h)}; \frac{x}{(m \cdot b_0 \cdot h)} \right)$ . Здесь  $F_0$  – площадь расчетного сечения воздухораспределителя ( $F_0=0,192 \text{ м}^2$ );  $b_0$  – ширина расчетного сечения ВР ( $b_0=0,47 \text{ м}$ );  $h$  – высота помещения, м ( $h=3,0 \text{ м}$ );  $x$  – расчетная длина струи до поверхности гранулятора ( $x=2,3 \text{ м}$ ). Поскольку для условий исследований величина  $F_0/(b_0 \cdot h) = 0,18$ , что вне пределов данных таблицы, то предложен прогноз до значений 0,2. Для удобства обозначив  $F_0/(b_0 \cdot h) = \bar{F}$  и  $x/(m \cdot b_0 \cdot h) = \bar{x}$ , для расстояния от плоскости истечения приточной струи до гранулятора  $x=2,3 \text{ м}$  получена зависимость  $K_c = 0,2686\bar{F}^{-0,207}$ .

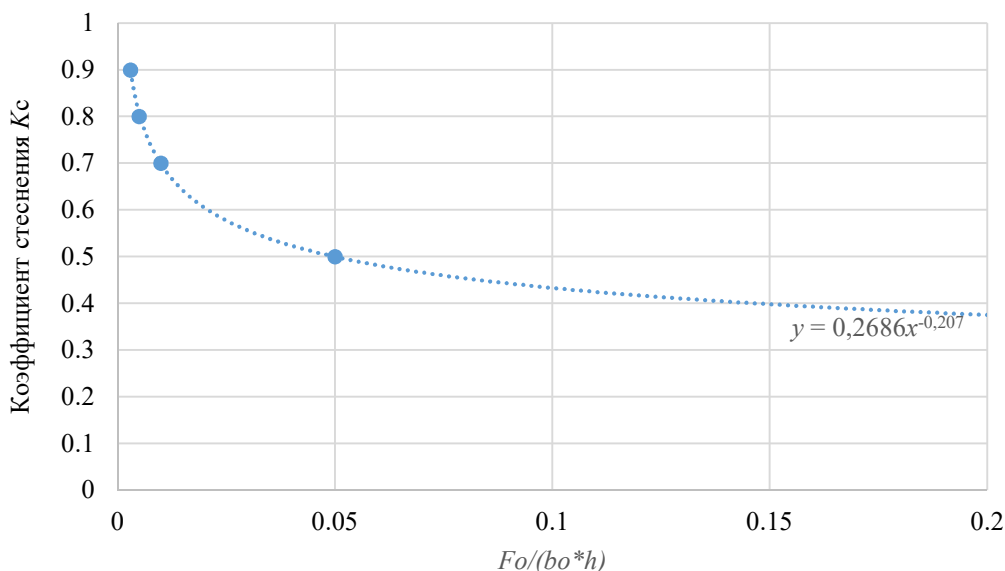


Рис. 7. Зависимость коэффициента стеснения  $K_c$

Помимо коэффициента стеснения предлагается использовать дополнительный коэффициент для учета торможения струи при натекании и частичном обтекании гранулятора. Коэффициент влияния гранулятора  $K_\Gamma$  должен учитывать соотношение геометрических размеров воздухораспределителя и гранулятора. Таким образом:

$$K_\Gamma = \frac{S}{F_0}, \tag{4}$$

где  $S$  – площадь гранулятора ( $S=0,18 \text{ м}^2$ ).

**Основная часть.** Результаты исследований представлены на рисунках 8-12. На рисунке 8 приведены графики изменения осевой скорости движения воздуха в пространстве над гранулятором при расходе  $300 \text{ м}^3/\text{ч}$  по результатам лабораторного и численного экспериментов, а также с использованием инженерного метода расчета с учетом предложенных коэффициентов стеснения и влияния гранулятора.

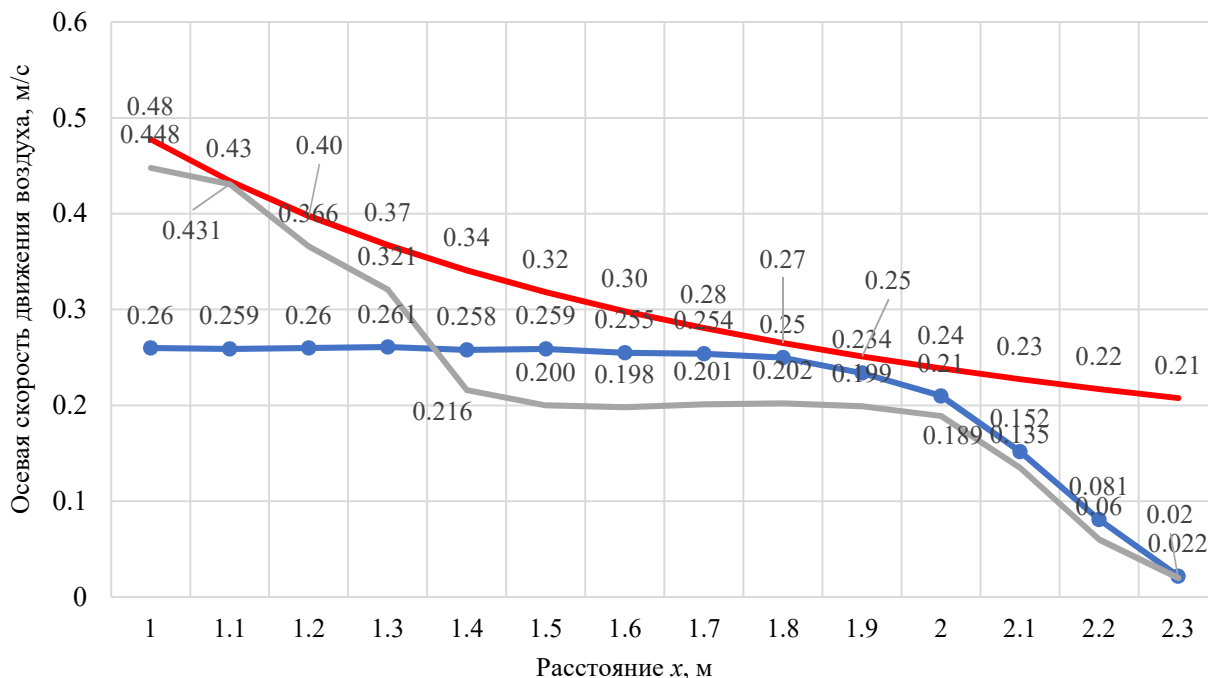


Рис. 8. Изменение осевой скорости активированной струи при расходе  $300 \text{ м}^3/\text{ч}$  (Красным цветом показаны данные инженерного метода расчета; синим – результаты численного моделирования; серым – результаты лабораторного исследования)

В интервале от 1,0 до 2,0 м наблюдается удовлетворительное соответствие скоростей движения воздуха для всех методов исследований. В

непосредственной близости от гранулятора на расстоянии от 2,0 до 2,3 м инженерный метод не может быть использован вследствие торможения

потока при его взаимодействии с гранулятором. В этой зоне можно отметить удовлетворительное соответствие данных численного и лабораторного исследований, что доказывает адекватность принятых методов исследований, поскольку подробные пространственные поля распределения

параметров возможно получить только в результате численных экспериментов. Аналогичные результаты получены и при расходе  $150\text{ м}^3/\text{ч}$  (рис. 9).

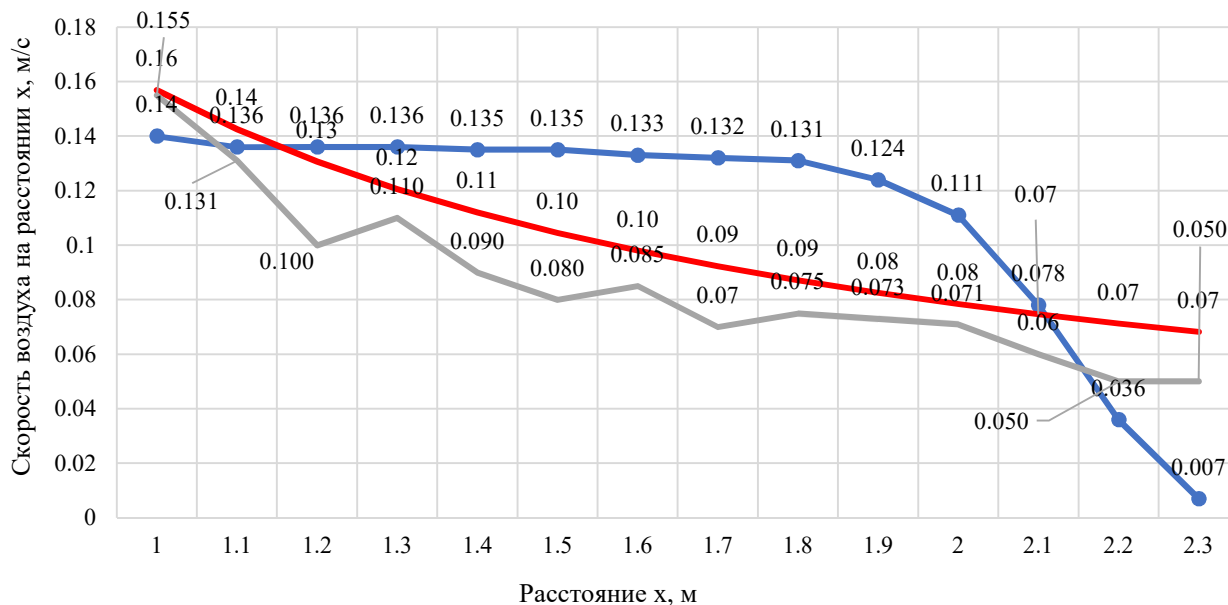


Рис. 9. Изменение осевой скорости активированной струи при расходе  $150\text{ м}^3/\text{ч}$  (Красным цветом показаны данные инженерного метода расчета; синим – результаты численного моделирования; серым – результаты лабораторного исследования)

На рисунках 10–12 представлены поля распределения скорости движения воздуха в пространстве над гранулятором, полученные в результате численного эксперимента.

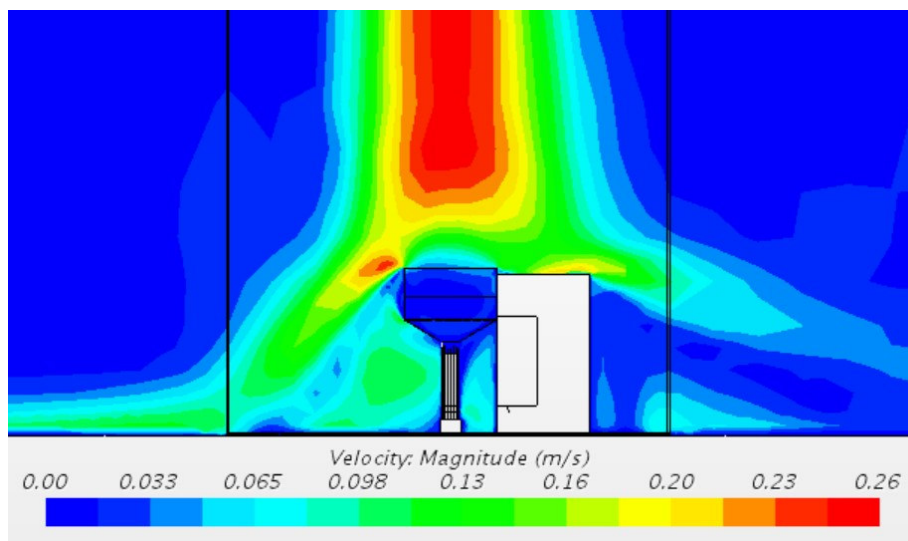


Рис. 10. Распределение скоростей движения воздуха при расходе  $300\text{ м}^3/\text{ч}$

На рисунке 10 видно, что на расстоянии  $0,3\text{ м}$  от гранулятора струя начинает испытывать влияние препятствия (гранулятора), происходит торможение и поворот струи. Струя обтекает гранулятор, создавая при этом несимметричные зоны распределения скоростей на рабочем месте

оператора из-за наличия вспомогательного оборудования (блока электропривода гранулятора). При этом скорости не превышают нормируемых значений. Максимальное значение при срыве струи в левой части (рис. 10) до  $0,26\text{ м/с}$ . Одно-

временно в левой части образуется зона с малыми скоростями (Рис. 11.а), способствующая формированию ниспадающей струи. Частично воздух поступает в бункер гранулятора. В правой части поля скоростей наблюдается затухание струи (рис. 11.б), что связано, с одной стороны, с наличием препятствия (блока электропривода), соразмерного с гранулятором. С другой – с влия-

нием конвективной струи, возникающей над блоком. Несмотря на незначительную разность температур между поверхностью блока и воздухом в пределах 2-4°С, конвективная струя воздействует на активированную струю, изменяя ее траекторию.

При расходе 150 м<sup>3</sup>/ч поле распределения скоростей имеет идентичный характер (рис.12).

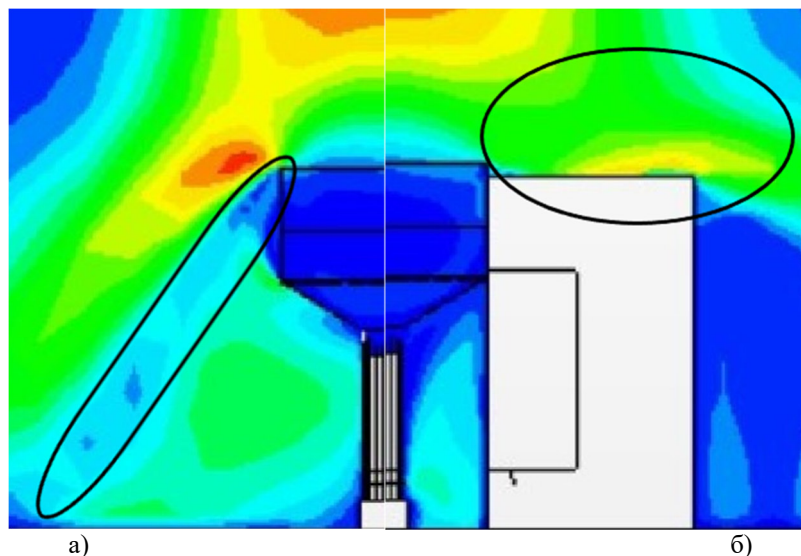


Рис. 11. Левая часть гранулятора (а), правая часть(б)

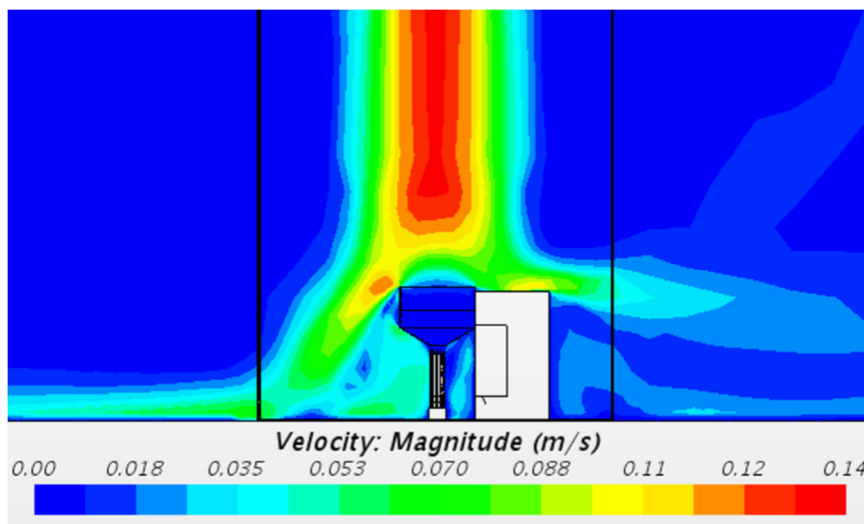


Рис. 12. Распределение скоростей при расходе 150 м<sup>3</sup>/ч

Особенности взаимодействия приточной активированной струи и гранулятора с точки зрения распределения скорости необходимы для исследования режима функционирования оборудования при загрузке порошкообразного исходного материала с размерами 0,5–5,0 мкм.

#### Выводы.

Результаты математического моделирования и лабораторного эксперимента на созданной опытной установке имеют удовлетворительное согласование, что подтверждает адекватность разработанной математической модели для описания процесса взаимодействия активированной приточной струи и гранулятора.

2. Предложено ввести в инженерный метод расчета струи полученные значения коэффициентов стеснения и влияния гранулятора, позволившие обобщить результаты при различных методах исследований.

3. Полученные поля распределения скорости движения воздуха при взаимодействии приточной струи и гранулятора выявили особенности формирования струйных течений в окрестности гранулятора и рабочей зоне помещения.

4. Определены перспективы дальнейших исследований, направленных на совершенствование способа подачи активированной струи для



повышения эффективности процесса локализации взвешенных частиц порошка с целью улучшения состояния микроклимата и снижения потерь исходного материала.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Краснюк И.И., Михайлова Г.В. Фармацевтическая технология: Технология лекарственных форм. Учебное пособие. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 464 с. Baseline pharmaceutical engineering guide. PDFSlide. URL: <https://pdfslide.us/documents/ispe-baseline-pharmaceutical-engineering-guide.html?page=1> (дата обращения: 29.05.2024).
2. Ilin E.A., Grimitlin A.M. Clean-Room Class D Air Distributor Performance Evaluation: Case Study of RTC Polisan // Proceedings of ECSF 2021 Engineering, Construction, and Infrastructure Solutions for Innovative Medicine Facilities. 2021. Pp. 111-122. DOI: 10.1007/978-3-030-99877-6\_13
3. Батулин В.В., Ханжонков В.В. Циркуляция воздуха в помещении в зависимости от расположения приточных и вытяжных отверстий // АВОК. 2008. № 7. С. 91–100.
4. Гримитлин М.И., Позин Г.М. Определение параметров струй, развивающихся в ограниченном пространстве по тупиковой и проточной схемам // Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. 1973. № 91. С. 12–17.
5. Гримитлин М.И. Распределение воздуха в помещениях. СПб.: АВОК Северо-Запад, 2004. 320 с.
6. Ильин Е.А. Исследование скорости активированной струи у поверхности фармацевтического гранулятора // Сборник докладов Всероссийской конференции по теплогазоснабжению и вентиляции, посвященной 70-летию со дня образования БГТУ им. В. Г. Шухова [Электронный ресурс] / под ред. А.С. Семиненко - Белгород: БГТУ, 2024. С. 11–16.
7. Пат. 1459711. МПК E21F5/00. Аспирационное укрытие / А.П. Колесник, И.Н. Логачев, Г.Н. Никелина. Заявитель и патентообладатель: Научно-исследовательский институт по вентиляции и очистке воздуха на горнорудных предприятиях. № 1459711/22-3. Заявл.13.07.1970; опубл.13.09.1972.
8. Пат. 1112193. МПК F 24 F 3/00. Пылезащитная камера для рабочего стола / Л.Н. Гринберг, Р.Б. Знаменский, С.И. Крефцун, Г.Я. Крупкин, Л.В. Павлухин, Г.М. Позин, В.А. Трофимов. Заявитель и патентообладатель: Ленинградский научно-исследовательский институт гигиены труда и профзаболеваний и Всесоюзный научно-исследовательский институт охраны труда ВЦСПС. № 2045223. Заявл.18.01.83; опубл. 07.09.84.
9. Бройда В.А., Бабич Е.К. Зависимости для расчета воздушно-струйного экрана для промышленной ванны // Известия КГАСУ. 2017. №2 (40). С. 160–167.
10. Гроссман В.А. Технология изготовления лекарственных форм. М.: Издательская группа "ГЭОТАР-Медиа", 2018. 336 с.
11. Карел Б., Зденек П. Производство твердых лекарственных форм. Курс лекций. М.: Company G.M.Project, 2005. 92 с.
12. Мухаметджанов А.А. Испытания чистых помещений. Опыт и нерешенные проблемы // Технология чистоты. 2023. №2. С. 9–14.
13. Уайт У. Технология чистых помещений. Основы проектирования, испытаний и эксплуатации. М.: Клинрум, 2002. 304 с.
14. Семиненко А.С. Снижение пылеобразования при пневмотранспортной загрузке порошкообразных материалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №4. С. 56–61. DOI: 10.12737/article\_5ac31d7d349966.71461325
15. Logachev K.I., Ziganshin A.M., Popov E.N., Averkova O.A., Kryukova O.S., Goltsov A.B. Experiment determining pressure loss reduction using a shaped round exhaust hood // Building and Environment. 2021. Vol. 181. 107124
16. Сыромясов А.О., Понкратова Ю.В., Меньшакова Т.В. К вопросу моделирования термодинамического взаимодействия частиц, взвешенных в двумерной среде // Журнал средневожского математического сообщества. 2021. №4. С. 444–460. DOI: 10.15507/2079-6900.23.202104.444-460
17. Pandey P., Bharadwaj R., Chen X. Modeling of drug product manufacturing processes in the pharmaceutical industry // Predictive Modeling of Pharmaceutical Unit Operations. 2017. Pp. 1–13.
18. Zhuang J., Diao Y., Shen H. Numerical Investigation on Transport Characteristics of High-Temperature Fine Particles Generated in a Transiently Welding Process // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2021. Vol. 176. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121471.
19. Zeng L., Liu G., Gao J., Du B., Lu L., Cao C., Ye W., Tong L., Wang Y. A Circulating Ventilation System to Concentrate Pollutants and Reduce Exhaust Volumes: Case Studies with Experiments and Numerical Simulation for the Rubber Refining Process // Journal of Building Engineering. 2021. Vol. 35. DOI: 10.1016/j.jobee.2020.101984
20. Dept G.B. Guide to good pharmaceutical manufacturing practice. H.M. Stationery Off. London, 1971. 302 p.

Информация об авторах

**Ильин Егор Александрович**, аспирант кафедры теплогасоснабжения и вентиляции. E-mail: Egor.Ilin.98@bk.ru. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4

Поступила 21.05.2024 г.

© Ильин Е.А., 2024

*Ilin E.A.*

*Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering*

*E-mail: Egor.Ilin.98@bk.ru*

## INVESTIGATION OF THE VELOCITY OF THE ACTIVATED JET AT THE SURFACE OF THE PHARMACEUTICAL GRANULATOR

**Abstract.** *The state of the microclimate during the processing of powdered materials depends on the characteristics of the technological process, the starting materials and the possibility of localization of fine dust. The main means of localizing dust emissions is local exhaust ventilation, but usually the suspended particles captured become production waste. The production of solid dosage forms is based on the granulation of powdered materials. Aspiration shelters are not provided for granulators with an open hopper, which is due to the peculiarities of technological operations and the need for resource conservation. To preserve the raw materials and ensure the normalized purity of the air, it is proposed to use the supply of supply air directly into the loading zone of powdered material. A similar principle is used in local suction systems (with blowdown, blowdown), as well as for air douching of workplaces. To create an activated jet, it is proposed to use a unidirectional VBS air distributor. In design practice, an engineering calculation method based on the results of laboratory studies of the Arktos plant is used. To take into account the influence of the conditions of movement of the air jet, a number of coefficients (constraint, interaction and non-isothermicity) are used. This method cannot be used for the case of jet interaction with a granulator. Engineering methods for calculating local suction systems activated by supply jets also cannot be applied, since they are designed for specific types of shelters, for example, on-board suction systems. The calculation methods of air douching systems are based on the regularities of the supply jets without taking into account the peculiarities of the interaction of the supply jet and technological equipment. To improve the engineering method of calculating supply jets in difficult conditions of interaction with technological equipment and raw material, it is necessary to use numerical and laboratory experiments. The article presents the results of studies of the aerodynamic characteristics of the interaction of an activated jet with a granulator for the preparation of solid dosage forms. The results obtained can be used not only for the design of climatic systems of pharmaceutical production, but also for improving the calculation methods of local supply and exhaust ventilation systems.*

**Keywords:** *pharmaceutical production, clean room, granulator, fine dust, activated jet, numerical and laboratory experiment.*

### REFERENCES

1. Krasnyuk I.I., Mikhailova G.V. Pharmaceutical technology: Technology of dosage forms. Textbook. [Farmaceuticheskaya tekhnologiya: Tekhnologiya lekarstvennyh form. Uchebnoe posobie]. Moscow: Publishing center "Academy", 2004. 464 p. (rus)
2. Ilin E.A., Grititlin A.M. Clean-Room Class D Air Distributor Performance Evaluation: Case Study of RTC Polisan. Proceedings of ECSF 2021 Engineering, Construction, and Infrastructure Solutions for Innovative Medicine Facilities. 2021. Pp. 111–122. DOI: 10.1007/978-3-030-99877-6\_13
3. Baturin V.V., Khanzhonkov V.V. Indoor air circulation depending on the location of supply and exhaust vents [Cirkulyaciya vozduha v pomeshchenii v zavisimosti ot raspolozhenie pritochnykh i vytyazhnykh otverstij]. AVOK. 2008. No 7. Pp. 91–100. (rus)
4. Grititlin M.I., Pozin G.M. Determination of the parameters of jets developing in a limited space according to dead-end and flow schemes [Opredelenie parametrov struj, razvivayushchihsya v ograničennom prostranstve po tupikovoj i protočnoj skhemam]. Scientific works of the Institutes of Labor Protection of the VTSPS. 1973. No. 91. Pp.12–17. (rus)
5. Grititlin M.I. Indoor air distribution. [Raspredelenie vozduha v pomeshcheniyah]. St. Petersburg: AVOK Severo-Zapad, 2004. 320 p. (rus)
6. Ilin E.A. Investigation of the velocity of the activated jet at the surface of the pharmaceutical granulator [Issledovanie skorosti aktivirovannoj strui u poverhnosti farmacevticheskogo granulyatora].

Collection of reports of the All-Russian Conference on Heat and Gas Supply and ventilation dedicated to the 70th anniversary of the founding of the V.G. Shukhov BSTU, 2024. Pp. 11–16. (rus)

7. Grinberg L.N., Znamensky R.B., Kreftsun S.I., Krupkin G.Ya., Pavlukhin L.V., Pozin G.M., Trofimov V.A. Dustproof camera for the desktop. Pat. F, no. 2045223, 1984.

8. Kolesnik A.P., Logachev I.N., Nikelina G.N. Aspiration shelter. Pat. USSR, no. 1459711/22-3, 1972.

9. Broida V.A., Babich E.K. Dependencies for calculating an air-jet screen for an industrial bath [Zavisimosti dlya rascheta vozdušno-strujnogo ekrana dlya promyshlennoj vanny]. Izvestiya KGASU. 2017. No.2 (40). Pp. 160–167. (rus)

10. Grossman V.A. Technology of manufacturing dosage forms. [Tekhnologiya izgotovleniya lekarstvennyh form]. M.: Publishing group "GEOTAR-Media", 2018. 336 p. (rus)

11. Grossman V.A. Technology of manufacturing dosage forms. [Tekhnologiya izgotovleniya lekarstvennyh form]. M.: Publishing group "GEOTAR-Media", 2018. 336 p. (rus)

12. Mukhametdzhanov A.A. Testing of clean rooms. Experience and unresolved issues [Ispytaniya chistyh pomeshchenij. Opyt i nereshenye problem]. Purity technology. 2023. No.2. Pp. 9–14. (rus)

13. White W. Cleanroom technology. Fundamentals of design, testing and operation. [Tekhnologiya chistyh pomeshchenij. Osnovy proektirovaniya, ispytaniy i ekspluatatsii]. M.: Klinrum, 2002. 304 p. (rus)

14. Seminenko A.S. Reduction of dust formation during pneumatic transport loading of powdered materials [Snizhenie pyleobrazovaniya pri pnevmotransportnoj zagruzke poroshkoobraznyh

materialov]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No.4. Pp. 56–61. DOI: 10.12737/article\_5ac31d7d349966.71461325 (rus)

15. Logachev K. I., Ziganshin A.M., Popov E.N., Averkova O.A., Kryukova O.S., Gol'tsov A.B. Experiment determining pressure loss reduction using a shaped round exhaust hood. Building and Environment. 2021. Vol. 181. 107124

16. Syromyasov A.O., Ponkratova Yu.V., Menchakova T.V. On the issue of modeling the thermodynamic interaction of particles suspended in a two-dimensional medium [K voprosu modelirovaniya termodinamicheskogo vzaimodejstviya chastic, vzveshennyh v dvumernoj srede]. Journal of the Middle Volga Mathematical Community. 2021. No. 4. Pp. 444–460. DOI: 10.15507/2079-6900.23.202104.444-460 (rus)

17. Pandey P., Bharadwaj R., Chen X. Modeling of drug product manufacturing processes in the pharmaceutical industry. Predictive Modeling of Pharmaceutical Unit Operations. 2017. Pp. 1–13.

18. Zhuang J., Diao Y., Shen H. Numerical Investigation on Transport Characteristics of High-Temperature Fine Particles Generated in a Transiently Welding Process. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2021. Vol. 176. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121471

19. Zeng L., Liu G., Gao J., Du B., Lu L., Cao C., Ye W., Tong L., Wang Y. A Circulating Ventilation System to Concentrate Pollutants and Reduce Exhaust Volumes: Case Studies with Experiments and Numerical Simulation for the Rubber Refining Process. Journal of Building Engineering. 2021. Vol. 35. DOI: 10.1016/j.job.2020.101984

20. Dept G.B. Guide to good pharmaceutical manufacturing practice. H.M. Stationery Off. London, 1971. 302 p.

#### *Information about the authors*

**Ilin, Egor A.** Postgraduate student of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation. E-mail: Egor.Ilin.98@bk.ru. St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya str., 4.

*Received 21.05.2024*

#### **Для цитирования:**

Ильин Е.А. Взаимодействие активированной струи и фармацевтического гранулятора // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. № 12. С. 47–57. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-12-47-57

#### **For citation:**

Ilin E.A. Investigation of the velocity of the activated jet at the surface of the pharmaceutical granulator. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 12. Pp. 47–57. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-12-47-57