

# Механика

УДК 62-9132.4

## Исследование процессов смешивания в гидросмесителе с новым рабочим органом для производства качественных кладочных растворов

С.Ю. Лозовая, Н.М. Лозовой, С.И. Анциферов, О.В. Гуденко

БГТУ им. В.Г. Шухова

## Study of the mixing processes in a hydromixer with a new working body for production of the high-quality masonry mortars

S.Yu. Lozovaya, N.M. Lozovoy, S.I. Antsiferov, O.V. Gudenko

Belgorod State Technical University named after V.G. Shukhov

В настоящее время повышается значимость приготовления высококачественных строительных растворов, применяемых при строительстве домов, отделке зданий, сооружений и др. Их качество зависит от пластичности и водоудерживающей способности (не менее 90 %), поэтому при получении строительных растворов необходимо создать условия для обеспечения требуемых свойств. Разработан и исследован новый рабочий орган в комплекте с разрушающими перегородками. Построены их цифровые модели для гидродинамического моделирования и статического анализа перемещений и напряжений методом конечных элементов с использованием CAD/CAE-систем. Получены модели взаимодействия элементов гидросмесителя при отсутствии и наличии разрушающей перегородки для различных значений коэффициента загрузки и частоты вращения рабочего органа. Для кладочных растворов рекомендовано использовать Г-образную перегородку при коэффициенте загрузки 0,7 и частоте вращения рабочего органа  $300 \text{ мин}^{-1}$ , повышение которых приведет к необоснованным затратам электроэнергии при одинаковых времени смешивания и производительности. Наличие разрушающей перегородки дает возможность организовать упорядоченные циркуляционные потоки кладочного раствора в области вращения рабочего органа и вихревые потоки материала выше уровня загрузки. Полученные результаты моделирования гидросмесителя могут быть применены в различных областях промышленности.

EDN: THDIOC, <https://elibrary/thdioc>

**Ключевые слова:** водоудерживающая способность, пластичность смеси, гидросмеситель, CAD/CAE-системы, рабочий орган, гидродинамическое моделирование

The importance of preparing the high-quality building mortars used in building houses, all types of finishing the buildings, structures, etc. is increasing currently. The mortars quality de-

depends on plasticity and water-holding capacity (at least 90%); therefore, it is necessary to create conditions for ensuring the required properties in their production. The paper presents results of design, development and study of a new working body in assembly with the destructive partitions. The digital models are constructed for the hydrodynamic simulation and static analysis of displacements and stresses by the finite element method using the CAD/CAE systems. Models of the hydraulic mixer elements are obtained at changing the loading factors, working body rotation frequency, with and without using the destructive partitions. The paper recommends for the masonry mortars to use a  $\Gamma$ -shaped partition with the loading factor of 0.7 and the working body rotation frequency of  $300 \text{ min}^{-1}$ . An increase in their values would lead to the unreasonable energy costs with the same mixing time and productivity. The partition makes it possible to establish the mixture regulated circulation flows in the working body rotation area and the material vortex flows above the loading level. The obtained results of simulating the hydromixer could be used in various industry areas.

**EDN:** THDIOC, <https://elibrary/thdioc>

**Keywords:** water-holding capacity, mixture plasticity, hydromixer, CAD/CAE systems, working body, hydrodynamic simulation

В настоящее время возрастает значимость получения высококачественных строительных растворов, наибольший объем которых приходится на кладочные (КР), применяемые при строительстве домов, отделке зданий и сооружений, заполнения швов и др. [1, 2]. Так, за последние 3 года потребление КР при строительстве увеличилось примерно на 18 % [3].

В состав КР входят песок, цемент и вода. Соотношение этих компонентов зависит от характеристик, требуемых для решения той или иной задачи [1, 2, 4] и необходимых свойств конечного продукта. Основными свойствами КР, влияющими на его качество, являются пластичность и водоудерживающая способность смеси, которая должна составлять 90 %. Благодаря таким свойствам КР не расслаивается при транспортировании, не теряет подвижности при укладке на пористое основание и не растрескивается в процессе твердения. Поэтому использование смесительного устройства, обеспечивающее указанные свойства КР, является актуальным.

Цель работы — повышение интенсивности циркуляции частиц смешиваемых компонентов в гидросмесителе с использованием нового винтового рабочего органа (РО) и отражающей перегородки (далее перегородка), обеспечивающих вихревое движение частиц КР и упорядоченных циркуляционных потоков.

Известно [3, 5, 6], что для обеспечения указанных свойств можно использовать гидросмеситель с новым РО [7], в котором смешивание компонентов происходит при высокой скорости частоте вращения РО. К основным преимуществам нового РО перед другими конструкциями относятся высокое качество гото-

вого продукта и повышенная производительность. Однако он имеет существенный недостаток: при организации излишней хаотичности перемещения частиц происходит расслоение КР, что снижает его водоудерживающую способность и пластичность [8–11]. Для устранения этого недостатка разработан и исследован новый винтовой РО (рис. 1, а) [3], выполненный посредством скручивания двух дугообразных поверхностей на угол  $\alpha = 270^\circ$  вокруг собственной оси, образующих лопасти, которые позволяют организовать как упорядоченные циркуляционные потоки КР, так и вихревые потоки материала выше уровня загрузки. При этом вверху смесительной камеры (СК) выше РО должна возникать некоторая хаотичность движения КР, что улучшит степень перемешивания крупных и мелких частиц.

Особое место при проектировании нового РО занимает гидродинамическое моделирование, так как оно предоставляет возможность создавать цифровые модели будущих изделий, проводить анализ их функциональности, сравнивать различные варианты конструктивного исполнения устройств и т. д.

Для гидродинамического моделирования и статического анализа [7] использован программный продукт SolidWorks [12, 13], который позволяет спроектировать цифровую модель (CAD/CAE-система), внести в нее необходимые конструктивные изменения и провести новое исследование.

При моделировании скоростей перемещения [14], фазовых портретов и траекторий потоков смешиваемых компонентов сначала строили цифровые модели РО с СК без перегородки

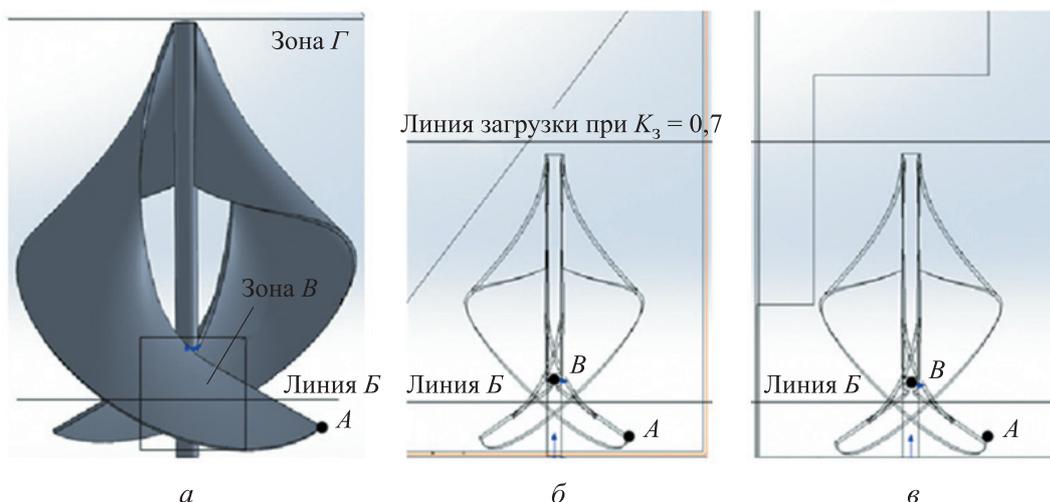


Рис. 1. Цифровые модели винтового РО с СК без перегородки (а) и с треугольной (б) и Г-образной (в) перегородками

родки и СК с треугольной и Г-образной перегородками (рис. 1, а–в). Затем для получения гидродинамической модели цифровые модели проверяли на наличие зазоров и открытых отверстий, которые удаляли в случае их обнаружения. Далее устанавливали граничные условия и задавали следующие параметры:

- тип задачи — внутренняя (т. е. внутри агрегата);
- тип текучей среды — КР плотностью 1500 кг/м<sup>3</sup>;
- температура внешней среды — 20 °С;
- скорость перемещения КР на входе — 0 м/с;
- давление внешней среды — 101 325 Па;
- коэффициент загрузки  $K_3 = 0,7$  и  $1,0$ ;
- частота вращения РО  $n = 300$  и  $500$  мин<sup>-1</sup>.

В качестве исследуемого материала выбрали КР, состоящий из цемента (1 часть), песка

(2 части) и воды (0,6 частей). Рабочий цикл системы включал в себя загрузку компонентов в необходимых пропорциях через загрузочное отверстие, смешивание компонентов новым винтовым РО и выгрузку готовой смеси через разгрузочное отверстие.

Исследованы модели визуализации различных типов взаимодействия элементов гидросмесителя с винтовым РО и перегородок с КР.

**Результаты моделирования процесса перемешивания КР гидросмесителем с винтовым РО и СК без перегородки** (см. рис. 1, а). Результаты такого моделирования при коэффициенте загрузки  $K_3 = 1,0$  и двух частотах вращения РО ( $n = 300$  и  $500$  мин<sup>-1</sup>) приведены на рис. 2, а и б. Видно, что характер перемещения КР однотипный, т. е. сверху вниз потоки КР с разными скоростями засасываются вдоль вала

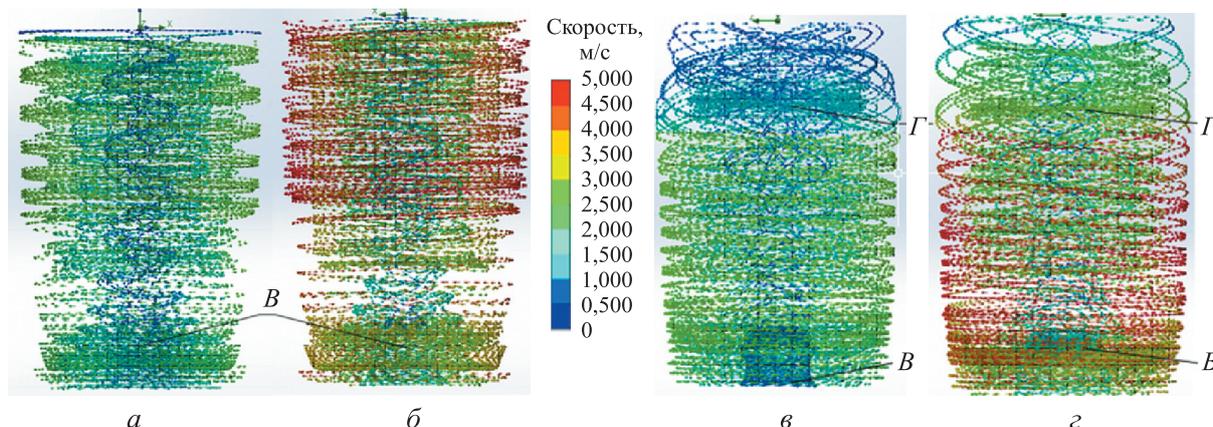


Рис. 2. Траектории и поля скоростей перемещения потоков КР в модели СК без перегородки при различных значениях коэффициента загрузки и частоты вращения РО:  
 а —  $K_3 = 1,0$  и  $n = 300$  мин<sup>-1</sup>; б —  $K_3 = 1,0$  и  $n = 500$  мин<sup>-1</sup>; в —  $K_3 = 0,7$  и  $n = 300$  мин<sup>-1</sup>; г —  $K_3 = 0,7$  и  $n = 500$  мин<sup>-1</sup>

по винтовым траекториям, ширина которых обусловлена максимальной шириной РО ниже уровня точки *A* и средней скоростью перемещения потоков  $v_{cp}$ , где происходит некоторое скопление КР в зоне *B*. Далее при разгоне частиц до максимальных скоростей под воздействием РО осуществляется их движение по винтовой траектории вдоль стенок РО вверх, после чего процесс повторяется.

Следует отметить, что РО вращается по ходу часовой стрелки, а КР движется против ее хода:

- при  $n = 300 \text{ мин}^{-1}$  скорость перемещения частиц КР изменяется в диапазоне 0,50...1,00 м/с ( $v_{cp} = 0,75 \text{ м/с}$ ), а их максимальная скорость перемещения вверх в пристенной зоне достигает 2,50...3,00 м/с ( $v_{cp} = 2,75 \text{ м/с}$ );

- при  $n = 500 \text{ мин}^{-1}$  скорость перемещения частиц КР составляет 0...1,50 м/с ( $v_{cp} = 0,75 \text{ м/с}$ ), а их максимальная скорость перемещения вверх — 4,00...4,50 м/с ( $v_{cp} = 4,25 \text{ м/с}$ ), т. е. в 1,5 раза больше, чем при  $n = 300 \text{ мин}^{-1}$ .

При коэффициенте  $K_3 = 1,0$  и частотах вращения РО  $n = 300 \text{ мин}^{-1}$  и  $n = 500 \text{ мин}^{-1}$  по высоте СК и в самой широкой части РО наблюдаются разряжение и прерывистость потоков, что может вызвать выпадение крупных частиц, где тоже имеется застой, вследствие чего снижается качество КР.

*Результаты моделирования процесса перемешивания КР гидросмесителем с винтовым РО и СК без перегородки при коэффициенте загрузки  $K_3 = 0,7$  и двух частотах вращения РО ( $n = 300$  и  $500 \text{ мин}^{-1}$ )* приведены на рис. 2, *в* и *г*. Видно, что характер перемещения частиц в основном похожий, но имеется застойная зона *B*, а после подъема потоков до верха СК образуется воронка, и вдоль вала РО по винтовой траектории потоки КР опускаются вниз.

При коэффициенте загрузки  $K_3 = 0,7$  и частоте вращения РО  $n = 300 \text{ мин}^{-1}$  внизу вокруг РО (см. рис. 1, *а* и 2, *в*) в точке *A* в области, где перекрещиваются дугообразные поверхности лопастей, возникает застойная зона *B* диаметром 67 мм со скоростью перемещения частиц 0...0,50 м/с ( $v_{cp} = 0,25 \text{ м/с}$ ). Далее происходит их разгон до 2,50...3,00 м/с ( $v_{cp} = 2,75 \text{ м/с}$ ), и они поднимаются вверх на линию загрузки, где скорость перемещения потоков увеличивается до 1,50...2,00 м/с ( $v_{cp} = 1,75 \text{ м/с}$ ) в области *Г*, в которой частицы, поднимаясь, ударяются о верх СК.

Далее потоки вдоль вала РО опускаются по винтовой траектории вниз, причем максималь-

ный диаметр их траектории чуть меньше максимального поперечного размера РО. Здесь также имеет место переход частиц из пристенной зоны к валу, причем вдоль вала они перемещаются вниз, так как скорость резко падает в 2–3 раза: от 2,50 до 0,50...1,50 м/с ( $v_{cp} = 1,00 \text{ м/с}$ ).

При коэффициенте загрузки  $K_3 = 0,7$  и частоте вращения РО  $n = 500 \text{ мин}^{-1}$  внизу РО образуется застойная зона *B* (см. рис. 2, *г*), но не такая плотная, как при  $n = 300 \text{ мин}^{-1}$ , с диаметром 33 мм, что меньше в 2 раза. Здесь скорость перемещения частиц в 3 раза выше (1,50...2,00 м/с,  $v_{cp} = 1,75 \text{ м/с}$ ), чем при  $n = 300 \text{ мин}^{-1}$ , где большая часть частиц разгоняется в основном до 4,00...5,00 м/с ( $v_{cp} = 4,50 \text{ м/с}$ ), что больше в 1,5 раза. Разгоняясь, частицы по плотной круговой траектории движутся вверх, где выше уровня загрузки в области *Г*, теряя скорость до 2,00...3,00 м/с ( $v_{cp} = 2,50 \text{ м/с}$ ), поднимаются. Но у поверхности СК скорость перемещения потоков снижается до 1,50...2,00 м/с ( $v_{cp} = 1,75 \text{ м/с}$ ). В центре СК частицы начинают опускаться по периметру РО, приобретая винтовую траекторию со скоростью 1,00...2,00 м/с ( $v_{cp} = 1,50 \text{ м/с}$ ), и опускаются вниз к застойной зоне *B*.

Таким образом, можно заключить, что в гидросмесителе с новым РО и СК без перегородки предпочтительнее использовать коэффициент загрузки  $K_3 = 0,7$  и частоту вращения РО  $n = 300 \text{ мин}^{-1}$ , при которых характер траекторий является однотипным и стабильным. Перемешивание КР при большей частоте вращения способствует его расслоению по размеру частиц вследствие увеличения центробежных сил. В самой широкой части РО имеется некоторое разряжение и прерывистость потоков по высоте СК. Это влияет на выпадение крупных частиц заполнителя, чему в том числе способствует наличие застойной зоны, что снижает качество КР. Следовательно, в системе необходимо нарушить стабильные траектории потоков, тогда процесс перемещения частиц можно организовать иначе, используя перегородку.

**Результаты моделирования процесса перемешивания КР гидросмесителем с винтовым РО и СК с треугольной перегородкой** (см. рис. 1, *б*) при коэффициенте загрузки  $K_3 = 0,7$  и двух частотах вращения РО ( $n = 300$  и  $500 \text{ мин}^{-1}$ ) приведены на рис. 3.

Видно, что характер перемещения частиц при обеих частотах вращения РО похожий, т. е. имеет место пробка *B* диаметром 71 и 49 мм,

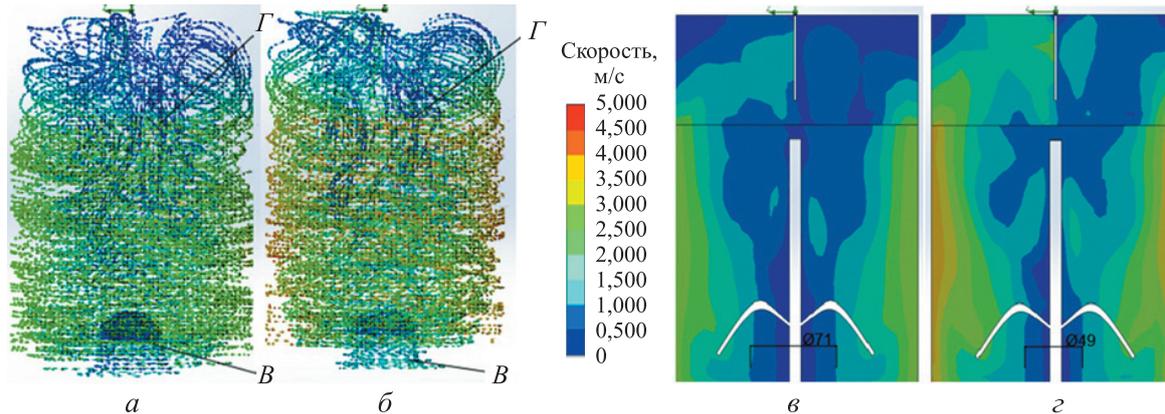


Рис. 3. Траектории (а, б) и фазовые портреты скорости перемещения потоков (в, г) в модели СК с треугольной перегородкой при коэффициенте загрузки  $K_3 = 0,7$  и частоте вращения РО  $n = 300$  (а, в) и  $500 \text{ мин}^{-1}$  (б, г)

что в 1,5 раза меньше. Вверху выше уровня загрузки наблюдается хаотичное перемещение частиц, а при движении КР вниз вдоль РО разрушена винтовая траектория, что способствует более интенсивному перемешиванию КР с частицами разного размера, а при подъеме смеси вверх стабилизируется круговая траектория вдоль стенки СК, что положительно влияет на пластичность КР.

При частоте вращения РО  $n = 300 \text{ мин}^{-1}$  скорость перемещения частиц КР соответствует таковой для модели СК без перегородки с коэффициентом загрузки  $K_3 = 0,7$ . При частоте вращения РО  $n = 500 \text{ мин}^{-1}$  скорость перемещения потоков в пробке В снижается в 1,4 раза:  $1,00 \dots 1,50 \text{ м/с}$  ( $v_{cp} = 1,25 \text{ м/с}$ ) вместо  $1,50 \dots 2,00 \text{ м/с}$  ( $v_{cp} = 1,75 \text{ м/с}$ ). Из этой пробки частицы разгоняются к стенкам СК при подъеме вверх в основном до  $2,00 \dots 3,50 \text{ м/с}$  ( $v_{cp} = 2,75 \text{ м/с}$ ) вместо  $4,50 \dots 5,00 \text{ м/с}$  ( $v_{cp} = 4,75 \text{ м/с}$ ), что меньше в 2 раза.

**Результаты моделирования процесса перемешивания КР гидросмесителем с винтовым РО и СК с Г-образной перегородкой** (см. рис. 1, в) при коэффициенте загрузки  $K_3 = 0,7$  и двух частотах вращения РО ( $n = 300$  и  $500 \text{ мин}^{-1}$ ) приведены на рис. 4.

Видно, что при частоте вращения РО  $n = 300 \text{ мин}^{-1}$  (рис. 4, а, в) модели СК с Г-образной и треугольной перегородками похожи как по характеру, так и по скорости перемещения КР. При частоте вращения РО  $n = 500 \text{ мин}^{-1}$  (рис. 4, б, г) эти модели схожи только по характеру перемещения частиц, а их скорость по круговой траектории вдоль стенок СК аналогична таковой для конструкции без перегородки и равна  $4,00 \dots 5,00 \text{ м/с}$  ( $v_{cp} = 4,50 \text{ м/с}$ ).

Таким образом, Г-образную перегородку следует использовать при частоте вращения РО  $n = 300 \text{ мин}^{-1}$  (см. рис. 4, а, в), так как скорости перемещения частиц и потоков примерно равны, т. е. при  $n = 500 \text{ мин}^{-1}$  (см. рис. 4, б, г) затра-

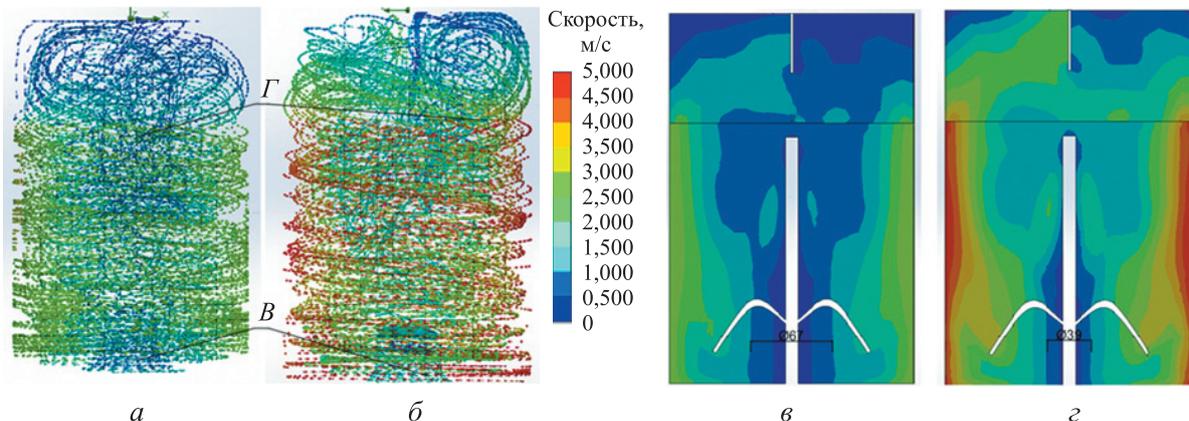


Рис. 4. Траектории (а, б) и фазовые портреты скорости перемещения потоков (в, г) в модели СК с Г-образной перегородкой при коэффициенте загрузки  $K_3 = 0,7$  и частоте вращения РО  $n = 300$  (а, в) и  $500 \text{ мин}^{-1}$  (б, г)

ты на электроэнергию будут необоснованными, хотя время смещения и производительность примерно одинаковые.

Проведен статический анализ РО и перегородок по определению перемещений и напряжений при воздействии приложенных нагрузок в САЕ-системе SolidWorks Simulation, интерфейс которой позволяет внести изменения в конструкцию и улучшить характеристики деталей и системы в целом. Расчет выполнен методом конечных элементов.

По результатам статического анализа РО [15, 1] установлено следующее:

- максимальные напряжения, составляющие  $1,1 \cdot 10^8$  Н/м<sup>2</sup> (рис. 5, а), сконцентрированы в самых широких частях винтовых лопастей во внутренней области и в верхней части их крепления к валу;
- максимальные перемещения лопастей, равные 0,375 мм (рис. 5, б), возникают в широкой части лопастей снаружи, где будет происходить интенсивный износ, что требует обеспечения

повышенной износостойкости тем или иным способом.

Значения максимальных перемещений и напряжений не превышают условий прочности материала.

В моделях с треугольной и Г-образной перегородками напряжения по Мизесу (рис. 6, а, б) сконцентрированы в области их крепления к стенке СК. Максимальное напряжение равно  $2,91 \cdot 10^8$  Н/м<sup>2</sup> в СК с треугольной перегородкой, что примерно в 2 раза больше, чем в СК Г-образной перегородкой ( $1,90 \cdot 10^8$  Н/м<sup>2</sup>). В СК с треугольной перегородкой максимальное перемещение составило 1,34 мм в средней зоне вдоль вертикального элемента, что в 3,6 раза больше (0,375 мм), чем в СК с Г-образной перегородкой (рис. 6, в, г).

С конструкторской точки зрения, если в треугольной перегородке удалить наиболее нагруженную часть, которая с течением времени будет повреждена, то она примет вид гораздо менее нагруженной Г-образной. А гидродинамический

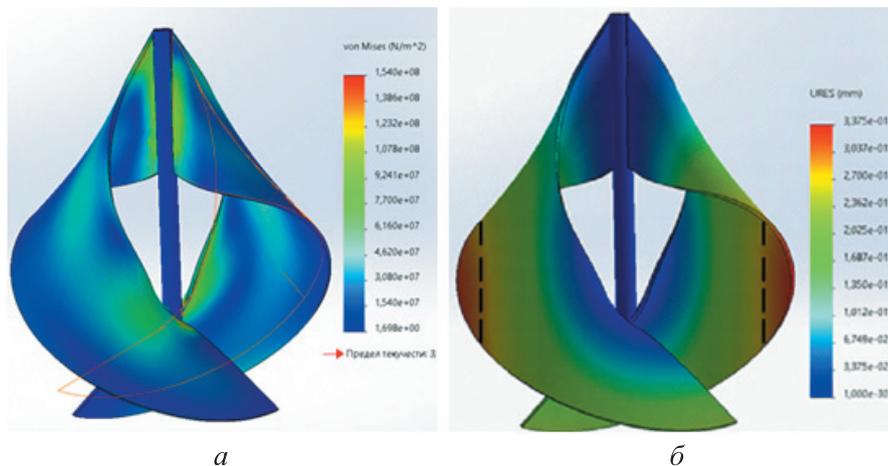


Рис. 5. Распределения напряжений по Мизесу (а) и максимальных перемещений элементов лопастей (б) в винтовом РО

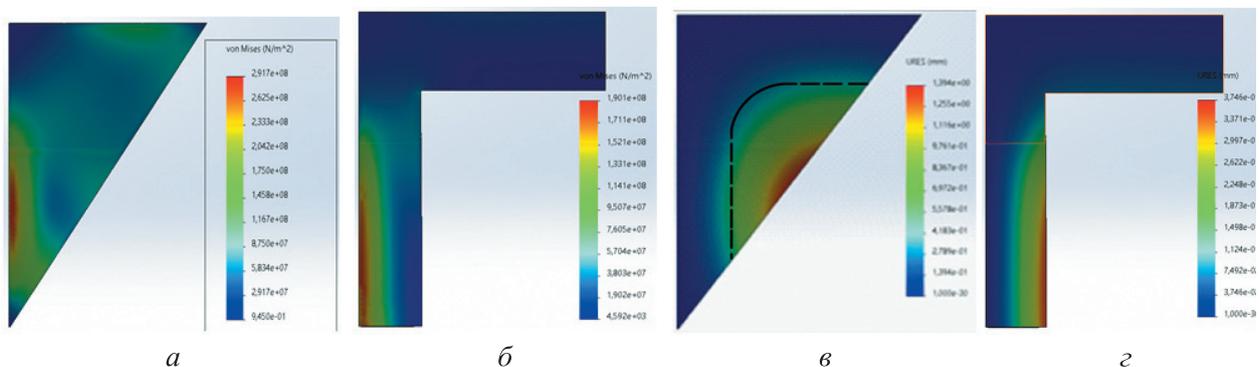


Рис. 6. Распределения напряжений по Мизесу (а, б) и максимальных перемещений элементов лопастей (в, г) в СК с треугольной (а, в) и Г-образной (б, г) перегородками

анализ показал, что в процессе смещения КР хорошо работает верхняя часть Г-образной перегородки, создавая вихревые потоки.

## Выводы

1. Проведен статический анализ РО и разрушительных перегородок. Смоделированы гидродинамические процессы для трех различных исполнений гидросмесителя.

2. Анализ гидродинамических моделей СК показал, что с точки зрения технологических характеристик следует использовать Г-образную перегородку при коэффициенте загрузки  $K_3 = 0,7$  и частотах вращения РО  $n = 300 \text{ мин}^{-1}$  и  $n = 500 \text{ мин}^{-1}$ . Перемещение потоков происходит по плотным круговым траекториям вдоль стенок, что стабилизирует КР, положительно влияет на его пластичность, а вверху некоторая хаотичность повышает степень перемешивания крупных и мелких частиц. При смещении работает верхняя часть перегородки, создавая вихревые потоки при частоте вращения РО  $n = 300 \text{ мин}^{-1}$ .

3. Исследование прочности элементов гидросмесителя выявило следующее:

- максимальное перемещение лопастей в разработанном винтовом РО (0,375 мм) возникает там, где происходит интенсивный износ,

вследствие чего требуется повышение износостойкости тем или иным способом;

- максимальное напряжение, составляющее  $15,4 \text{ Н/м}^2$ , сконцентрировано в самых широких частях винтовых лопастей и в верхней области крепления лопасти к валу;

- в СК с треугольной и Г-образной перегородками максимальные напряжения сконцентрированы в области их крепления к стенке СК, максимальное напряжение по Мизесу в треугольной перегородке равно  $2,91 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$ , а в Г-образной —  $1,90 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$ , что примерно в 2 раза меньше;

- максимальное перемещение в СК с треугольной перегородкой составило 1,340 мм в средней зоне, а в Г-образной — 0,375 мм вдоль вертикального элемента, что больше в 3,6 раза.

4. С конструкторской точки зрения, если в треугольной перегородке удалить наиболее нагруженную часть, которая с течением времени будет повреждена, то она примет вид гораздо менее нагруженной Г-образной. Также нежелательно использовать частоту вращения РО  $n = 500 \text{ мин}^{-1}$ , так как и при  $n = 300 \text{ мин}^{-1}$  скорости перемещения компонентов КР примерно равны, т. е. затраты на электроэнергию окажутся необоснованными, хотя время смещения и производительность примерно одинаковые.

## Литература

- [1] Рахметов А.Ж., Темербаева Ж.А. Кладочные растворы на основе композиционных вяжущих. *Вестник науки*, 2019, т. 3, № 5, с. 366–371. EDN: TSTIKP
- [2] Михайлова К.В., Масленникова Л.Л. Теплоизоляционный кладочный раствор с использованием золы от сжигания древесины. *Инновационные технологии в строительстве и геоэкологии. Мат. VII Межд. науч.-практ. интернет-конф.* Москва, Спутник+, 2020, с. 22–25.
- [3] Гуденко О.В., Лозовая С.Ю. Моделирование рабочего процесса турбулентного смесителя периодического действия. *Сб. мат. 77-й всеросс. науч.-тех. конф. студентов, магистрантов и аспирантов с межд. участием.* Ч. 2. Ярославль, ЯГТУ, 2024, с. 101–104.
- [4] Бабаев З.К., Мадаминов Д.К. Кладочный раствор с повышенным коэффициентом сцепления для кладки стен из силикатного кирпича. *Universum: технические науки*, 2021, № 1–2, с. 63–68, doi: <https://doi.org/10.32743/UniTech.2021.82.1-2.63-68>
- [5] Халюшев А.К., Калатурская Т.А., Ельшаева Д.М. и др. Методика расчета рациональных геометрических параметров и режимов работы турбулентного смесителя для эффективного приготовления пенобетонной смеси. *Вестник ВСГУТУ*, 2021, № 3, с. 46–53, doi: [https://doi.org/10.53980/24131997\\_2021\\_3\\_46](https://doi.org/10.53980/24131997_2021_3_46)
- [6] Нагорский В.В., Моргун Л.В., Богатина А.Ю. Эксплуатационные достоинства применения турбулентных смесителей в технологии пенобетонов. *Химия, физика и механика материалов*, 2019, № 1, с. 14–24.
- [7] Капанова А.Б., Бакин М.Н., Верлока И.И. и др. Способы описания движения твердых дисперсных сред в различных плоскостях для сечений смесительного барабана. *Вестник ТГТУ*, 2015, т. 21, № 2, с. 296–304, doi: <https://doi.org/10.17277/vestnik.2015.02.pp.296-304>

- [8] Евграфов А.Н., Петров Г.Н. Геометрия и кинематика механизма турбулентного смесителя. *Современное машиностроение. Наука и образование*, 2013, № 3, с. 701–708.
- [9] Григор А.С., Марков В.А. Каскадный барабанный смеситель непрерывного действия для приготовления формовочных смесей. *Ползуновский альманах*, 2011, № 4–1, с. 75–77.
- [10] Марков В.А., Шнейдер А.А., Григор А.С. Смеситель селективного перемешивания формовочных смесей. *Литейное производство*, 2015, № 7, с. 38–40.
- [11] Почеревин А.В. Планетарный лопастной смеситель для смешивания дисперсных материалов с вязкими средами. *Управление инновациями: теория, методология, практика*, 2015, № 14, с. 102–106.
- [12] Конев А.Ю., Глазков А.Ю., Хольшев Н.В. и др. Методика и результаты моделирования в «FLOW SIMULATION» «SOLIDWORKS 2018» процесса обтекания лопатки смесителя кормов. *Наука в центральной России*, 2023, № 6, с. 93–101, doi: <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-93-101>
- [13] Багоутдинова А.Г., Золотонос Я.Д., Шемелова О.В. Моделирование процессов гидродинамики и теплообмена в каналах сложной конфигурации с помощью программного модуля SOLIDWORKS FLOW SIMULATION. *Вестник Казанского технологического университета*, 2014, № 14, с. 199–201.
- [14] Lozovaya S.Y., Fadin Y.M., Gavrilenko A.V. et al. Simulation of the cement loading movement in the chamber of a pneumatic chamber pump. In: *Digital technologies in construction engineering*. Springer, 2022, pp. 337–344, doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-81289-8\\_43](https://doi.org/10.1007/978-3-030-81289-8_43)
- [15] Lozovaya S.Y., Bogdanov N.E., Lozovoy N.M. et al. Optimization of mixing-crushing device design using CAE-analysis. In: *Digital technologies in construction engineering*. Springer, 2022, pp. 233–241, doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-81289-8\\_30](https://doi.org/10.1007/978-3-030-81289-8_30)

## References

- [1] Rakhmetov A.Zh., Temerbaeva Zh.A. Masonry mortars based on composite binders. *Vestnik nauki* [Science Bulletin], 2019, vol. 3, no. 5, pp. 366–371. EDN: TSTIKP (In Russ.).
- [2] Mikhaylova K.V., Maslennikova L.L. [Thermal insulating masonry mortar using wood combustion ash]. *Innovatsionnye tekhnologii v stroitelstve i geokologii. Mat. VII Mezhd. nauch.-prakt. internet-konf.* [Innovative Technologies in Construction and Geocology. Proc. VII Int. Sci.-Pract. Internet-Conf.]. Moscow, Sputnik+ Publ., 2020, pp. 22–25. (In Russ.).
- [3] Gudenko O.V., Lozovaya S.Yu. [Simulation of the working process of a turbulent batch mixer]. *Sb. mat. 77-y vseross. nauch.-tekh. konf. studentov, magistrantov i aspirantov s mezhd. uchastiem. Ch. 2* [Proc. 77th Russ. Sci.-Tech. Conf. of Undergraduate, Graduate and Postgraduate Students with International Participation. P. 2]. Yaroslavl, YaGTU Publ., 2024, pp. 101–104. (In Russ.).
- [4] Babaev Z.K., Madaminov D.K. Composite masonry mortar with an increased coefficient of adhesion for silicate brick masonry. *Universum: tekhnicheskie nauki*, 2021, no. 1–2, pp. 63–68, doi: <https://doi.org/10.32743/UniTech.2021.82.1-2.63-68> (in Russ.).
- [5] Khalyushev A.K., Kalaturskaya T.A., Elshaeva D.M. et al. Calculation technique for rational geometric parameters and operating modes of a turbulent mixer for effective preparation of foam concrete mixture. *Vestnik VSGUTU* [ESSUTM Bulletin], 2021, no. 3, pp. 46–53, doi: [https://doi.org/10.53980/24131997\\_2021\\_3\\_46](https://doi.org/10.53980/24131997_2021_3_46) (in Russ.).
- [6] Nagorskiy V.V., Morgun L.V., Bogatina A.Yu. Operational advantages of use of turbulent mixers in technology of foam concretes. *Khimiya, fizika i mekhanika materialov*, 2019, no. 1, pp. 14–24. (In Russ.).
- [7] Kapranova A.B., Bakin M.N., Verloka I.I. et al. Methods of description of solid dispersive mediums motion in different planes for mixer drum sections. *Vestnik TGTU* [Transactions of the TSTU], 2015, vol. 21, no. 2, pp. 296–304, doi: <https://doi.org/10.17277/vestnik.2015.02.pp.296-304> (in Russ.).
- [8] Evgrafov A.N., Petrov G.N. Geometry and kinematics of the turbulent mixer mechanism. *Sovremennoe mashinostroenie. Nauka i obrazovanie*, 2013, no. 3, pp. 701–708. (In Russ.).
- [9] Grigor A.S., Markov V.A. Cascade continuous drum mixer for preparation of molding mixtures. *Polzunovskiy almanakh*, 2011, no. 4–1, pp. 75–77. (In Russ.).
- [10] Markov V.A., Shneyder A.A., Grigor A.S. Mixer for selective mixing of molding mixtures. *Liteynoe proizvodstvo* [Foundry. Technology and Equipment], 2015, no. 7, pp. 38–40. (In Russ.).

- [11] Pocherevin A.V. Planetary paddle mixer for mixing dispersed materials with viscous media. *Upravlenie innovatsiyami: teoriya, metodologiya, praktika*, 2015, no. 14, pp. 102–106. (In Russ.).
- [12] Konev A.Yu., Glazkov A.Yu., Kholshhev N.V. et al. Methods and results of simulation in “Flow simulation” “Solidworks 2018” of the flow process after a feed mixer blade. *Nauka v tsentralnoy Rossii* [Science in the Central Russia], 2023, no. 6, pp. 93–101, doi: <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-93-101> (in Russ.).
- [13] Bagoutdinova A.G., Zolotonosov Ya.D., Shemelova O.V. Modeling of hydrodynamics and heat transfer processes in channels of complex configuration using Solidworks Flow Simulation software module. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Technological University], 2014, no. 14, pp. 199–201. (In Russ.).
- [14] Lozovaya S.Y., Fadin Y.M., Gavrilenko A.V. et al. Simulation of the cement loading movement in the chamber of a pneumatic chamber pump. In: *Digital technologies in construction engineering*. Springer, 2022, pp. 337–344, doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-81289-8\\_43](https://doi.org/10.1007/978-3-030-81289-8_43)
- [15] Lozovaya S.Y., Bogdanov N.E., Lozovoy N.M. et al. Optimization of mixing-crushing device design using CAE-analysis. In: *Digital technologies in construction engineering*. Springer, 2022, pp. 233–241, doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-81289-8\\_30](https://doi.org/10.1007/978-3-030-81289-8_30)

Статья поступила в редакцию 05.03.2023

## Информация об авторах

**ЛОЗОВАЯ Светлана Юрьевна** — доктор технических наук, профессор кафедры «Механическое оборудование». БГТУ им. В.Г. Шухова (308012, Белгород, Российская Федерация, ул. Костюкова, д. 46, e-mail: [lozwa@mail.ru](mailto:lozwa@mail.ru)).

**ЛОЗОВОЙ Николай Михайлович** — кандидат технических наук, доцент кафедры «Городской кадастр и инженерные изыскания». БГТУ им. В.Г. Шухова (308012, Белгород, Российская Федерация, ул. Костюкова, д. 46, e-mail: [lozwa88@mail.ru](mailto:lozwa88@mail.ru)).

**АНЦИФЕРОВ Сергей Игоревич** — кандидат технических наук, доцент, и.о. заведующего кафедры «Механическое оборудование». БГТУ им. В.Г. Шухова (308012, Белгород, Российская Федерация, ул. Костюкова, д. 46, e-mail: [anciferov.sergey@gmail.com](mailto:anciferov.sergey@gmail.com)).

**ГУДЕНКО Олег Витальевич** — аспирант кафедры «Механическое оборудование». БГТУ им. В.Г. Шухова (308012, Белгород, Российская Федерация, ул. Костюкова, д. 46, e-mail: [oleg.gudenko2014@yandex.ru](mailto:oleg.gudenko2014@yandex.ru)).

## Information about the authors

**LOZOVAYA Svetlana Yurievna** — Doctor of Science (Eng.), Professor, Department of Mechanical Equipment. Belgorod State Technical University named after V.G. Shukhov (308012, Belgorod, Russian Federation, Kostyukova St., Bldg. 46, e-mail: [lozwa@mail.ru](mailto:lozwa@mail.ru)).

**LOZOVOY Nikolai Mikhailovich** — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Urban Cadastre and Engineering Surveys. Belgorod State Technical University named after V.G. Shukhov (308012, Belgorod, Russian Federation, Kostyukova St., Bldg. 46, e-mail: [lozwa88@mail.ru](mailto:lozwa88@mail.ru)).

**ANTSIFEROV Sergey Igorevich** — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Head of Mechanical Equipment. Belgorod State Technical University named after V.G. Shukhov (308012, Belgorod, Russian Federation, Kostyukova St., Bldg. 46, e-mail: [anciferov.sergey@gmail.com](mailto:anciferov.sergey@gmail.com)).

**GUDENKO Oleg Vitalievich** — Postgraduate, Department of Mechanical Equipment. Belgorod State Technical University named after V.G. Shukhov (308012, Belgorod, Russian Federation, Kostyukova St., Bldg. 46, e-mail: [oleg.gudenko2014@yandex.ru](mailto:oleg.gudenko2014@yandex.ru)).

### Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Лозовая С.Ю., Лозовой Н.М., Анциферов С.И., Гуденко О.В. Исследование процессов смешивания в гидросмесителе с новым рабочим органом для производства качественных кладочных растворов. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2025, № 4, с. 3–11.

### Please cite this article in English as:

Lozovaya S.Yu., Lozovoy N.M., Antsiferov S.I., Gudenko O.V. Study of the mixing processes in a hydromixer with a new working body for production of the high-quality masonry mortars. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2025, no. 4, pp. 3–11.