

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ СМЕСИТЕЛЕЙ ЗА СЧЕТ УПОРЯДОЧЕННОЙ ЗАГРУЗКИ КОМПОНЕНТОВ

Ю.Т. Селиванов, А.С. Дурнев, Б.Е. Поляков

*Кафедра «Прикладная механика и сопротивление материалов»,
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; soprnt@nnn.tstu.ru*

Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым

Ключевые слова и фразы: компонент; сегрегация; смеситель; смесь; сыпучий материал.

Аннотация: Представлена методика проведения процесса приготовления многокомпонентных смесей сыпучих материалов, склонных к сегрегации, в циркуляционных смесителях непрерывного действия с упорядоченной загрузкой компонентов. Указанная методика с использованием математического аппарата случайных марковских процессов может быть использована как для оптимизации работы действующего оборудования, так и при создании нового оборудования.

При осуществлении процесса смешивания сыпучих материалов, отличающихся размерами частиц и/или плотностью, большое негативное влияние на качество готовой смеси оказывает сегрегация более мелких и/или тяжелых частиц. Основным и наиболее эффективным методом борьбы с этим явлением является упорядоченная загрузка компонентов смеси в циркуляционный смеситель, причем характер этого процесса должен быть предварительно рассчитан для любых конкретных сочетаний компонентов сыпучих материалов [1].

При этом сегрегация может не препятствовать, но способствовать получению высококачественных смесей. Это связано с тем, что в циркуляционных смесителях имеет место упорядоченный характер движения компонентов, и зоны сегрегированного состояния смеси легко прогнозируемы.

Для того чтобы сегрегация превратилась из отрицательного в положительный фактор проведения процесса, необходимо создание определенного аппаратного оформления, позволяющего управлять протеканием процесса, изменяя регламент загрузки компонентов.

Для достижения этой цели созданы конструкции циркуляционных смесителей [2, 3] и способы проведения процесса смешивания [4–6].

Проведение смешивания с использованием этих конструкций и способов позволяет, но не гарантирует получение положительного результата без обеспечения определенных режимов работы. Необходимо предварительно провести расчет регламента [7] проведения процесса с использованием математической модели процесса смешивания [8, 9], для которой программа расчета на ЭВМ официально зарегистрирована [10]. Указанная математическая модель позволяет учитывать как загрузку компонентов в определенном сечении смесителя, так и на участках определенной длины вдоль его оси.

Особый интерес представляет методика проведения процесса с использованием упорядоченной загрузки компонентов смеси в циркуляционный смеситель, причем характер этого процесса должен быть предварительно рассчитан для любых конкретных сочетаний компонентов сыпучих материалов [7, 11–13].

Рассмотрим методику расчета циркуляционного смесителя с использованием блок-схемы, изображенной на рисунке. Для определенности в качестве примера приведем расчет барабанного смесителя непрерывного действия с возможностью упорядоченной загрузки компонентов [6]. При этом необходимо ввести ряд ограничений, связанных с тем, что геометрические параметры проведения процесса будем считать неизменными. Оптимизация будет заключаться в поиске расстояния от места выгрузки компонентов до начала введения каждого ключевого компонента, обеспечивающего получение высококачественной готовой смеси.

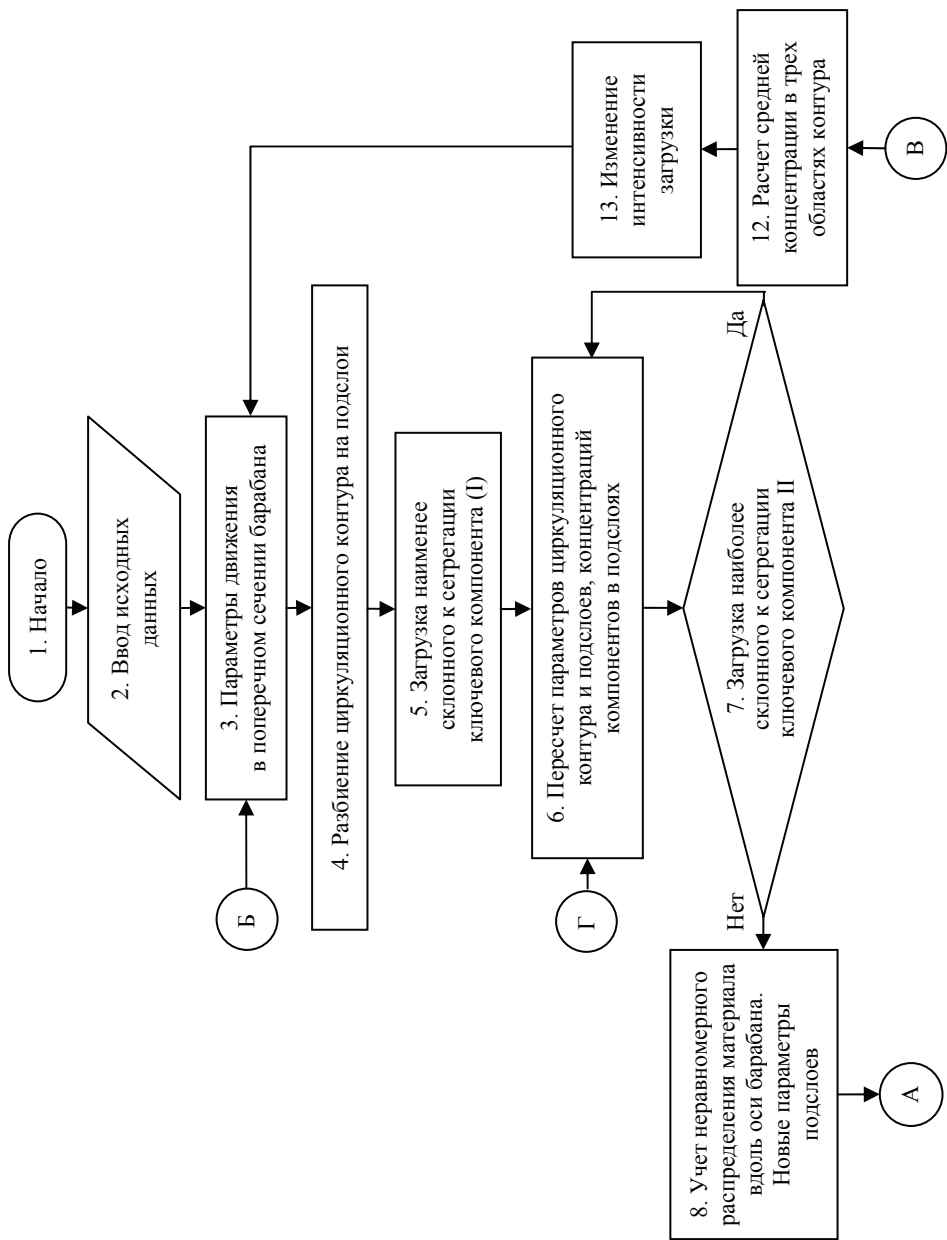
Расчет начинают с ввода исходных данных (блок 2). Например, для расчета процесса приготовления трехкомпонентной смеси необходим ввод следующих данных: радиус барабана и его длина; частота его вращения; коэффициенты трения покоя и движения всех компонентов, составляющих смесь; диаметр частицы самого малого компонента; коэффициенты вероятности перехода для всех ингредиентов, попарно; коэффициенты заполнения барабана на входе и выходе; параметры, ограничивающие длительность и объем загрузки ключевых компонентов; требования к качеству смеси по каждому ключевому компоненту; время пребывания в смесителе.

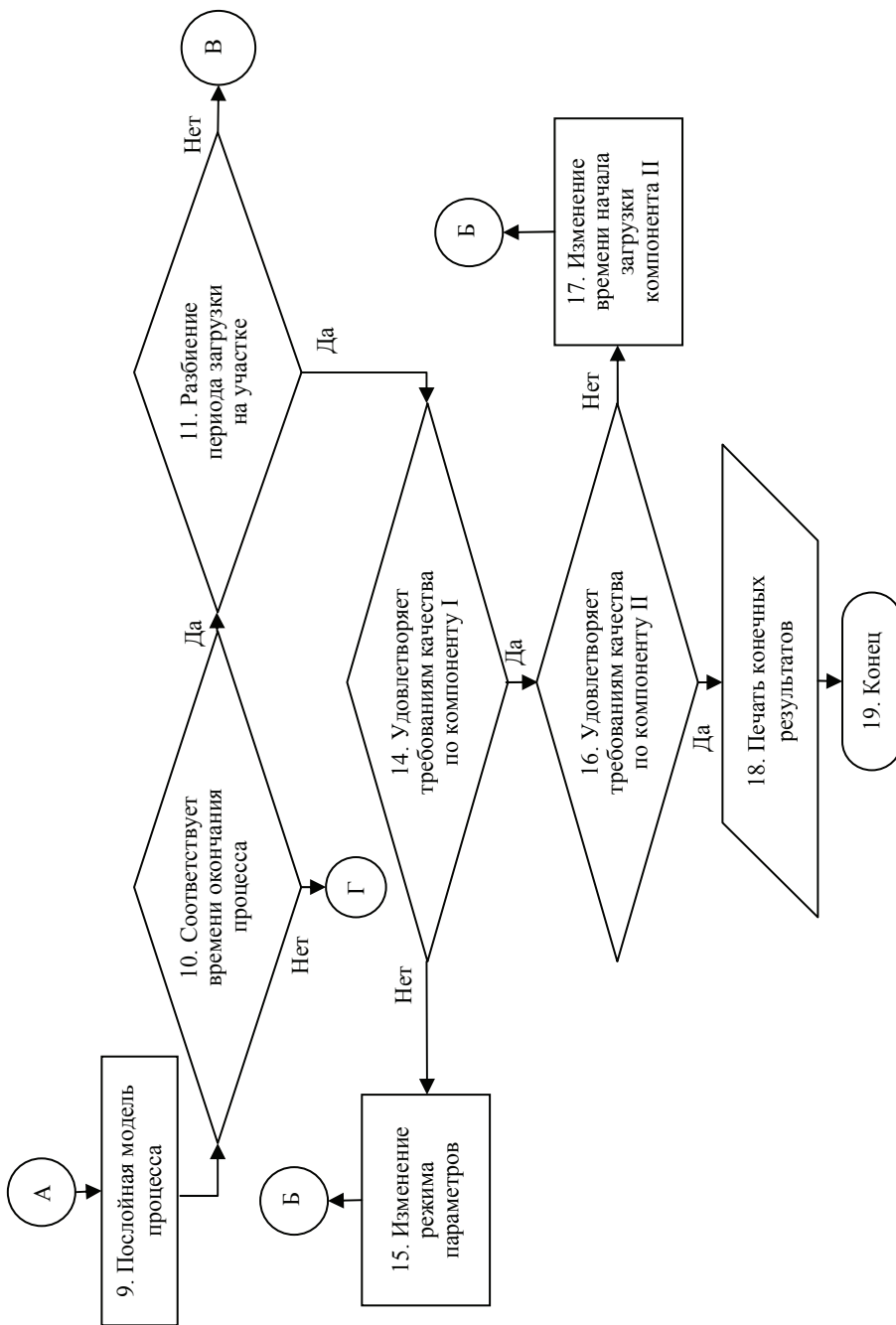
Далее (блок 3) производится расчет параметров движения материала в поперечном сечении барабана, в частности, определяются границы раздела и площади поднимающегося и скатывающегося слоев, координаты центра тяжести всего материала, потенциальная энергия поднимающихся слоев и системы. Затем осуществляется разбиение скатывающегося слоя на подслои с определением их объемов и границ раздела (блок 4). В соответствие с этим разбиением рассчитывается производительность подслоя и время одного перехода, а также соответствующее осевое перемещение материала.

Следует отметить, что режимные параметры проведения процесса (частота вращения и степень заполнения барабана материалом, угол его наклона к горизонту) выбираются не случайно. Согласно предложенному способу [6] наименее склонный к сегрегации ключевой компонент I загружается равномерно по всей длине смесителя в наружные подслои циркуляционного контура, образованного частицами основного компонента (блок 5). В процессе работы аппарата по мере продвижения к сыпающему краю этот ключевой компонент постепенно смещается в область центра циркуляции. В результате его попадания в смеситель изменяются параметры циркуляционного контура, поэтому необходимо производить их пересчет на каждом шаге загрузки (блок 6). Меняются также концентрации ключевых компонентов во вновь образованных подслоях. Так как наименее склонный к сегрегации ключевой компонент I загружается на наружную поверхность циркуляционного контура, происходит рост его концентрации в наиболее удаленных от центра циркуляции подслоях. Методика пересчета концентраций представлена в работе [11].

Далее происходит определение того, происходит ли на данном этапе расчета по математической модели (в рассчитанном месте по длине смесителя) начало загрузки наиболее склонного к сегрегации ключевого компонента II (блок 7). Уравнение, определяющее расстояние L_2 от начала барабана до места введения в смеситель этого компонента, представлено в виде упрощенной зависимости, связывающей коэффициенты вероятности перехода ключевых компонентов I и II в основной компонент

$$L_2 = L(1 - P_{10}/P_{20}), \quad (1)$$





Блок-схема расчета барабанного смесителя сыпучих материалов непрерывного действия

где L – длина барабана; P_{10} – вероятность перехода наименее склонного к сегрегации ключевого компонента I в основной; P_{20} – вероятность перехода наиболее склонного к сегрегации ключевого компонента в основной.

Если загрузка компонента II на данном этапе расчета производится, то осуществляется пересчет параметров циркуляционного контура и концентраций компонентов по подслоям [6] (блок 6).

Если загрузка не осуществляется, то производится учет неравномерного характера распределения сыпучего материала вдоль оси барабана (блок 8). При этом считается, что характер распределения материала по длине барабана равномерно убывающий. Зная степень заполнения материалом в начале и конце смесителя, его длину и осевое перемещение материала, соответствующее времени одного перехода, несложно получить зависимость для пересчета новых параметров подслоев.

На следующем этапе осуществляется расчет концентраций компонентов по подслоям циркуляционного контура с использованием послойной модели процесса смешивания для случая приготовления многокомпонентной смеси [8] (блок 9). При этом производится учет характера распределения по объему смеси каждого ключевого компонента. Таким образом осуществляется расчет процесса смешивания до тех пор, пока время проведения процесса не сравнивается со временем окончания процесса, которое соответствует среднему времени пребывания частиц сыпучего материала в барабане (блок 10). Этот просчет по математической модели соответствует варианту равномерной загрузки ключевых компонентов на наружную поверхность циркуляционного контура, причем начало загрузки наиболее склонного к сегрегации компонента производится на заранее рассчитанном расстоянии от загрузочного края барабана.

В статье [14] проанализирован характер распределения ключевых компонентов по подслоям циркуляционного контура при достижении оптимального качественного состава смеси. Сделан вывод о том, что, несмотря на различную склонность к сегрегации и разную длительность загрузки в смеситель как более, так и менее склонных к сегрегации ключевых компонентов, характер их распределения по подслоям циркуляционного контура оказывается весьма схожим. К моменту достижения оптимального качественного состава смеси в определенных подслоях наблюдаются зоны повышенного и/или пониженного содержания ключевых компонентов. Хотя различные ключевые компоненты оказывают влияние друг на друга в процессе их продвижения из периферийных подслоев в область центра циркуляции, вследствие их малого содержания в объеме смеси, это влияние незначительно и зоны повышенных и пониженных концентраций совпадают.

Весь период загрузки каждого ключевого компонента разбивается на три равных участка (блок 11) и в соответствии с тем, что является преобладающим в соответствующей области циркуляционного контура, то есть является ли концентрация ключевого компонента повышенной или пониженной, изменяется интенсивность загрузки. Для этого производится расчет средней концентрации каждого ключевого компонента в указанных областях циркуляционного контура (блок 12) и производится целенаправленное изменение интенсивности загрузки в соответствии с величиной отклонения этой концентрации от среднего значения (блок 13). Диапазон изменения интенсивности незначителен и не превышает $\pm 8\%$. Затем производится расчет по математической модели при неравномерном характере загрузки ключевых компонентов.

После проведения этого модельного просчета производится сравнение качества смеси по наименее склонному к сегрегации ключевому компоненту I на выходе из барабанного смесителя, рассчитанного по математической модели с требованиями к качеству, предъявляемыми заказчиком (блок 14).

Если качество оказалось ниже требуемого, производится изменение режимных параметров работы барабанного смесителя (блок 15). Причем это изменение производится целенаправленно, исходя из оценки характера распределения этого ключевого компонента по подслоям циркуляционного контура. В случае его повышенной концентрации во внутренних подслоях необходимо изменение режимных параметров с уменьшением времени пребывания частиц в смесителе или ростом степени заполнения барабана материалом. В случае пониженной концентрации во внутренних подслоях следует производить противоположные изменения режимных параметров.

После изменения режима работы смесителя производятся расчеты по математической модели до достижения нужного качества по этому ключевому компоненту. Далее производится сравнение требований к качеству смеси по наиболее склонному ключевому компоненту II с рассчитанными качественными характеристиками его распределения по объему смеси на выходе из аппарата (блок 16).

Если требование к качеству неудовлетворительные, то возможно изменение места введения в барабан этого компонента (блок 17). При этом изменение осуществляется также целенаправленно из анализа характера распределения этого компонента по объему смеси на выходе из смесительного барабана.

Следует отметить, что изменение места введения в смеситель компонента II весьма незначительно сказывается на качественной характеристике распределения наименее склонного к сегрегации ключевого компонента. Это объясняется тем, что при подобном изменении объем загрузки компонента II остается неизменным, а, следовательно, сохраняется характер заполнения барабана материалом и общее время пребывания частиц компонента I в смесителе.

После достижения требуемых качественных характеристик по каждому ключевому компоненту параметры проведения процесса смешивания выводятся на печать (блок 18). Таким образом, может быть проведена оптимизация работы действующего оборудования с целью повышения качества готового продукта.

В случае приготовления смесей из четырех и более компонентов методика расчета остается подобной изложенной. Дополнение касается увеличения числа блоков проверки качества смеси по каждому ключевому компоненту с пересчетом места введения в смеситель этих компонентов.

При проектировании нового оборудования к варьируемым параметрам следует отнести радиус и длину барабана, а также частоту его вращения. Изложенная методика с использованием разработанного математического аппарата может быть использована для оптимизации работы действующего оборудования, а также и при создании нового оборудования [15].

Список литературы

1. Селиванов, Ю.Т. Некоторые аспекты практического использования циркуляционных смесителей сыпучих материалов / Ю.Т. Селиванов, В.Ф. Першин // Хим. пром-сть сегодня. – 2011. – № 2. – С. 51–56.
2. А.с. 1125036 СССР, МПК В 01 F 3/18. Барабанный смеситель / Ю.И. Макаров [и др.]. – № 3627334/23–26. ; заявл. 26.07.83 ; опубл. 01.11.84, Бюл. № 43. – 1 с.
3. А.с. 1509073 СССР, МПК В 01 F 3/18. Барабанный смеситель сыпучих материалов / В.Ф. Першин [и др.]. – № 4434980/31–26. ; заявл. 28.06.88 ; опубл. 15.10.90, Бюл. № 38. – 1 с.
4. А.с. 1326323 СССР, МПК В 01 F 3/18. Способ приготовления смеси сыпучих материалов / В.Ф. Першин. – № 3834337/31–26. ; заявл. 02.01.85 ; опубл. 30.07.87, Бюл. № 28. – 1 с.
5. А.с. 1297895 СССР, МПК В 01 F 3/18. Способ приготовления многокомпонентных смесей сыпучих материалов / В.Ф. Першин. – № 3861237/31–26. ; заявл. 02.01.85 ; опубл. 23.03.87, Бюл. № 11. – 1 с.

6. Пат. № 2207900 Российская Федерация, МПК В 01 F 3/18. Способ непрерывного приготовления многокомпонентных смесей и устройство для его реализации / Селиванов Ю.Т., Першин В.Ф., Орлов А.В. ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2001110153/12. ; заявл. 13.04.01 ; опубли. 10.07.2003, Бюл. № 19. – 1 с.

7. Першин, В.Ф. Расчет регламента загрузки компонентов в барабанный смеситель / В.Ф. Першин, Ю.Т. Селиванов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2001. – Т. 7, № 4. – С. 591–598.

8. Селиванов, Ю.Т. Моделирование процесса смешивания дисперсных материалов, отличающихся размерами частиц / Ю.Т. Селиванов, В.Ф. Першин // Теорет. основы хим. технологии. – 2001. – Т. 35, № 1. – С. 90–93.

9. Селиванов, Ю.Т. Некоторые аспекты моделирования процесса смешивания в барабанном смесителе непрерывного действия / Ю.Т. Селиванов, А.В. Орлов // Тр. ТГТУ : сб. науч. ст. молодых ученых и студентов / Тамб. гос. техн. ун-т. – Тамбов, 2001. – Вып. 8. – С. 114–117.

10. Свидетельство № 2002612031 РФ об официальной регистрации программы для ЭВМ. Оптимизация процесса смешивания сыпучих материалов в барабанных смесителях непрерывного действия (смешивание в барабанном смесителе) / Селиванов Ю.Т., Першин В.Ф., Орлов А.В. – № 2002611772; заявл. 03.10.2002 ; зарегистрировано 03.12.2002.

11. Селиванов, Ю.Т. Расчет и проектирование циркуляционных смесителей сыпучих материалов без внутренних перемешивающих устройств / Ю.Т. Селиванов, В.Ф. Першин. – М. : Машиностроение-1, 2004. – 120 с.

12. Селиванов, Ю.Т. Стратегия повышения эффективности работы циркуляционных смесителей / Ю.Т. Селиванов, В.Ф. Першин // Энергоресурсосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные производства : материалы междунар. науч. конф., 14–17 сент. 2004 г., Иваново, Россия / Иван. гос. хим.-технол. ун-т [и др.]. – Иваново, 2004. – Т. 2. – С. 94.

13. Селиванов, Ю.Т. К вопросу оптимального проектирования смесительных установок / Ю.Т. Селиванов, В.Ф. Першин // Хим. пром-сть сегодня. – 2003. – № 2. – С. 43–46.

14. Селиванов, Ю.Т. Расчет регламента загрузки компонентов в циркуляционные смесители / Ю.Т. Селиванов, В.Ф. Першин, А.С. Дурнев // Хим. и нефтегазовое машиностроение. – 2011. – № 1. – С. 16–19.

15. Селиванов, Ю.Т. К вопросу повышения эффективности работы барабанных смесителей сыпучих материалов / Ю.Т. Селиванов, В.Ф. Першин // Хим. пром-сть. – 2002. – № 7. – С. 52–54.

Improving the Efficiency of Circulation Mixers Due to Ordered Loading of Components

Yu.T. Selivanov, A.S. Durnev, B.E. Polyakov

*Department “Applied Mechanics and Strength of Materials”, TSTU;
soprm@nnn.tstu.ru*

Key words and phrases: component; granular material; mix; mixer; segregation.

Abstract: The article presents the technique of implementing the process of preparing multi-component mixes from grain materials prone to segregation in a circulating mixer of continuous action with the ordered loading of components. The specified technique with the use of mathematical apparatus of random Markov processes can be used both for optimization of existing equipment, and designing new equipment.

Erhöhung der Effektivität der Arbeit der Zirkulationsmischer durch die ordentlichen Beschickung der Komponenten

Zusammenfassung: Es ist die Methodik der Durchführung des Prozesses der Vorbereitung der mehrkomponentigen Mischungen der zur Segregation geneigten Schüttstoffe in den Zirkulationsmischern des kontinuierlichen Funktionierens mit der ordentlichen Beschickung der Komponenten dargelegt. Die angegebene Methodik mit der Benutzung des mathematischen Apparats der Zufallsprozesse von Markov kann sowohl für die Optimierung des Funktionierens der funktionierenden Ausrüstung, als auch bei der Schaffung der neuen Ausrüstung benutzt werden.

Augmentation de l'efficacité du fonctionnement des mélangeurs circulaires compte tenu de la réglementation du chargement des composants

Résumé: Est présentée la méthode de la réalisation du processus de la préparation des mélanges à multicomposants portés à la ségrégation dans les mélangeurs circulaires de l'action continue avec le chargement réglémenté des composants. Est indiquée la méthode avec l'emploi de l'appareil mathématique des processus occasionnels de Markov qui peut être utilisée pour l'optimisation du fonctionnement de l'équipement ainsi que pour la création du nouvel équipement.

Авторы: *Селиванов Юрий Тимофеевич* – доктор технических наук, доцент кафедры «Прикладная механика и сопротивление материалов»; *Дурнев Александр Сергеевич* – аспирант кафедры «Прикладная механика и сопротивление материалов»; *Поляков Борис Евгеньевич* – студент, ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Червяков Виктор Михайлович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теория машин, механизмов и детали машин», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».
