

УДК 629.039.58

**ОЦЕНКА ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ТРУБОПРОВОДНОЙ ОБВЯЗКИ
РЕАКТОРА В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА**

**REACTOR PROCESS PIPING DISPLACEMENT ASSESSMENT IN
THE CONTEXT OF NONSTATIONARY OPERATING PRACTICES**

Мазина З. Р., Яковлева В. В., Кульшарипов И. М., Тляшева Р. Р.

**Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация**

**Z. R. Mazina, V. V. Yakovleva, I. M. Kulsharipov,
R. R. Tlyasheva**

**Ufa State Petroleum Technological University
Ufa, Russian Federation**

e-mail: zarina_rafikova@mail.ru

Аннотация. В настоящее время вопросам промышленной безопасности на нефтеперерабатывающих предприятиях уделяется повышенное внимание. Это связано с растущим количеством аварий в последние годы. Наиболее вероятными считаются аварийные ситуации, связанные с разгерметизацией технологических трубопроводов вследствие нарушений нормального технологического режима, недостаточного качества проведенных планово-предупредительных ремонтов и т.д. Неполная загрузка технологических установок, обусловленная изменением структуры потребления сырья на предприятиях, приводит к изменению режимов нагружения оборудования и увеличению его остановок. В большей степени это относится к технологическим трубопроводам, обвязывающим реакторное оборудование, работающего в условиях

нестационарного технологического режима. В связи с этим возникла необходимость в разработке метода оценки деформации трубопроводной обвязки при отклонении оси реактора от вертикали.

В работе проведена верификация результатов расчета деформации трубопроводной обвязки при отклонении оси реактора от вертикали, полученных в программном комплексе SOLIDWORKS, и их сравнение с результатами, полученными при экспериментальных исследованиях на стенде макета реактора с трубопроводной обвязкой. Это позволило создать единый подход к исследованию влияния различных факторов на работу трубопроводных систем реактора, что является немаловажной задачей, решение которой способствует повышению надежности и безотказному их функционированию.

Проведена оценка деформации перемещения трубопроводной обвязки при отклонении оси реактора от вертикали стандартными, численными и натурными методами, проведен сравнительный анализ полученных результатов.

Abstract. At present, special attention is paid to the issues of industrial safety in oil refineries. This is due to the growing number of accidents in recent years. The most likely are the emergency situations associated with the process pipelines depressurization due to their corrosive wear, the normal process conditions violations, planned preventive maintenance insufficient quality, etc. Process units' incomplete loading, caused by a change in the raw materials consumption structure at enterprises, leads to a change in the equipment loading regimes and the increase in its stops. To a greater extent, this refers to the process pipelines linking the reactor equipment, which has a no stationary change in the stress state. In this connection, it became necessary to develop a method for determining the process piping movement when the reactor axis misaligns from the vertical.

The process piping deformation calculating results verification in the reactor axis misalignment from the vertical obtained in the SOLID WORKS software

package and their comparison with the results of the reactor prototype mock-up with process piping were performed in this work. Ultimately, this allows creating a unified approach to the various factors influence study on the reactor pipeline systems, which is an important task that contributes to improving reliability and trouble-free operation. The estimation of deformation displacement piping axis deviation from the vertical reactor standard, numerical and observational methods, the comparative analysis of the results obtained.

Ключевые слова: верификация, метод конечных элементов, трубопроводная обвязка, реактор, деформация, напряженно-деформированное состояние, промышленная безопасность.

Key words: verification, finite element method, the reactor, deformation, piping, the stress-strain state, industrial safety.

Значительная часть аварий на оборудовании нефтеперерабатывающих заводов вызвана образованием взрывоопасных смесей вследствие нарушения технологического режима и герметичности. К нарушениям герметичности приводят резкие перепады температур в аппаратах или температурные перенапряжения, разрушение прокладок, разрывы технологических трубопроводов в результате коррозии, эрозии и усталость металла, некорректное расположение запорной арматуры и ее отказы в работе, механические повреждения. В настоящий момент большая часть технологического оборудования опасных производственных объектов отработала нормативный срок службы и находится в эксплуатации более чем 30 лет [1]. Дальнейшая эксплуатация оборудования возможна на основании обследования технического состояния, установления работоспособности, определения остаточного ресурса безопасной эксплуатации, проведением анализа экономической эффективности, с дальнейшей модернизацией и перевооружением опасных производственных объектов [2]. Учитывая большие сроки эксплуатации

оборудования, часто дефекты прокладки трубопроводов связаны с разрушением опорных конструкций и, как следствие, невыполнение ими функциональных обязанностей по распределению нагрузок, вследствие чего в местах провисания и застойных зонах велика вероятность появлений дефектов металла [3]. Многие дефекты трубопровода главным образом связаны с накоплением необратимых повреждений в деталях, узлах и элементах.

Неполная загрузка технологических установок, обусловленная изменением структуры потребления сырья на предприятиях, приводит к изменению режимов нагружения оборудования и увеличению его остановок. На фоне этих проблем стали возникать дефекты, характер которых не находит объяснения. В большей степени это относится к технологическим трубопроводам, обвязывающим реакторное оборудование, которое имеет нестационарное изменение напряженного состояния. Традиционный подход к расчету долговечности технологических трубопроводов становится недостаточным, так как не позволяет учесть такие факторы, как влияние динамики транспортируемой среды, нагрузки от сопряженного оборудования и реальное техническое состояние системы [4].

Технологические трубопроводы подвергаются сочетанию различных нагрузок, это причина изгибных деформаций трубопровода, и вследствие сложного характера напряженно-деформированного состояния (НДС). В связи с этим необходимо разработать метод, позволяющий определить деформацию трубопроводной обвязки в зависимости от изменения положения оси реактора [5].

Для реализации метода был создан стенд, на котором установлен макет реактора с трубопроводной обвязкой, который представлен на рисунке 1.



Рисунок 1. Макет реактора с трубопроводной обвязкой:
1 – реактор, 2 – трубопроводная обвязка, 3 – кронштейны

Для моделирования отклонения оси реактора от вертикали изменялось положение кронштейна, с шагом 1,5 мм, таким образом, чтобы угол между вертикалью и осью макета реактора изменялся в пределах имитирующих реальное отклонение реактора в процессе нестационарного режима работы.

Для расчета трубопроводных систем применяется ряд методик [6-8], позволяющих оценить его состояние, выполнить проверочный расчет, вычислить основные характеристики при заданных рабочих параметрах и условиях эксплуатации. Недостатком данных методов является невозможность провести полную оценку напряженно-деформированного состояния трубопроводных систем. Достаточно универсальным и эффективным способом расчета НДС является метод конечных элементов, реализованный в программном комплексе SOLIDWORKS, который

позволяет произвести расчет трубопроводной обвязки, а так же оценить нагрузки, их влияние на работу, рассчитать основные характеристики при нормальном протекании технологического процесса и при возникновении нештатных ситуаций [9].

Для исследования влияния отклонения оси реактора от вертикали на трубопроводную обвязку была построена твердотельная модель реактора с трубопроводной обвязкой, которая представлена на рисунке 2.

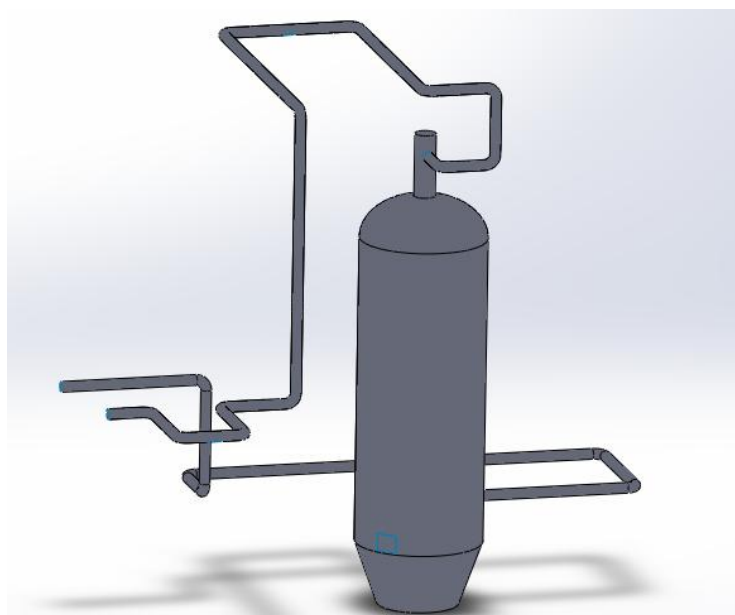


Рисунок 2. Твердотельная модель реактора с трубопроводной обвязкой

Модель трубопроводной обвязки создана как поверхностное тело с заданной толщиной. Геометрические параметры заданы в соответствии с ГОСТ 8732-78 [10]. Трубопроводная обвязка жестко закреплена на концах, модель реактора – в узле присоединения опорной обечайки. На всю конструкцию действует сила тяжести аппарата и обвязки. Ко всем элементам сборки применен материал Ст 3, толщина оболочки 5 мм.

Расчет конечно-элементной модели производился в модуле SIMULATION. Анализ полученных результатов численного моделирования показал, что максимальное напряжение трубопроводной обвязки составило 14,2 МПа (рисунок 3) в месте врезки трубопровода, моделирующего патрубков вывода продукта из реактора.

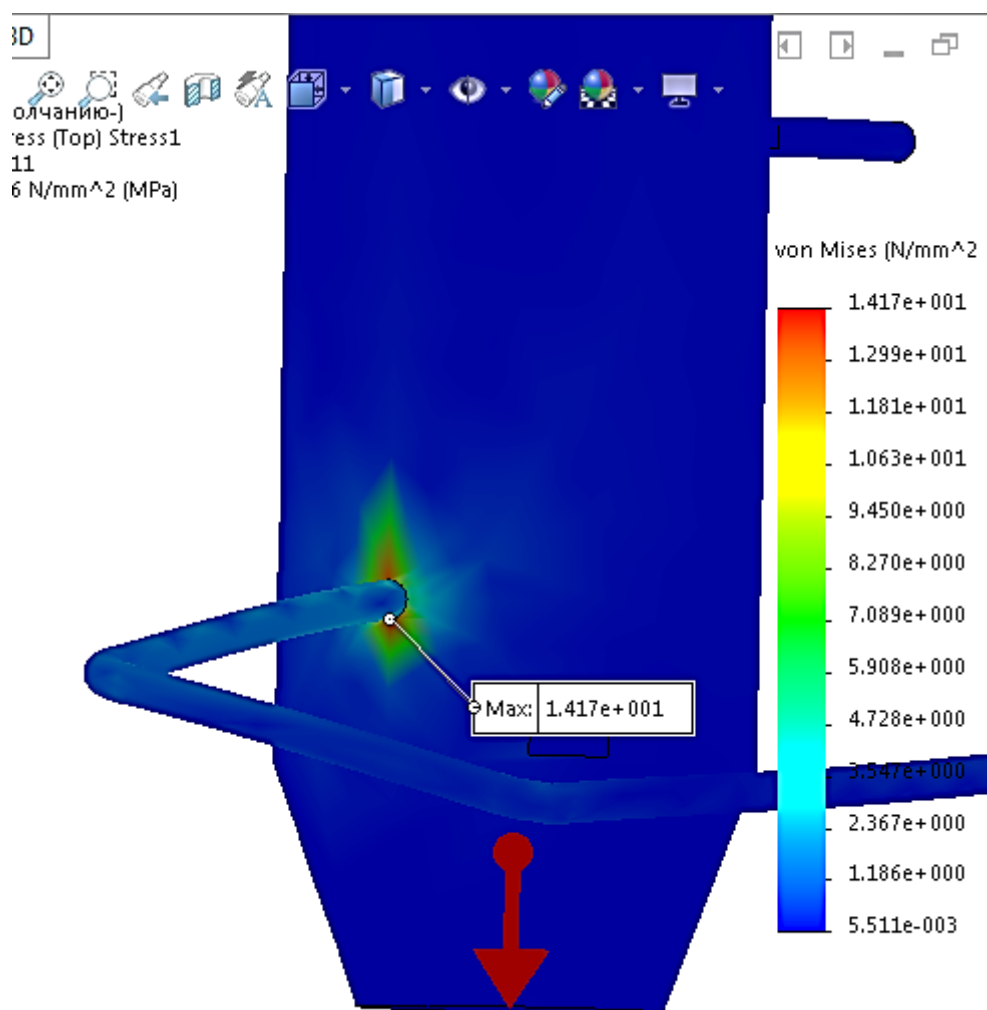


Рисунок 3. Максимальное напряжение в месте врезки трубопровода

Сравнительный анализ результатов расчета НДС трубопроводной обвязки реактора, моделирующего патрубок ввода сырья в реактор, в программном комплексе «СТАРТ» и в программном комплексе SOLIDWORKS представлен в таблице 1 в соответствии с участками модели, которые представлены на рисунке 4.

Характер распределения напряжений в программном комплексе SOLIDWORKS соответствует результатам расчета в программном комплексе «СТАРТ». Сравнение данных распределения напряжений в трубопроводной обвязке представлены в таблице 1.

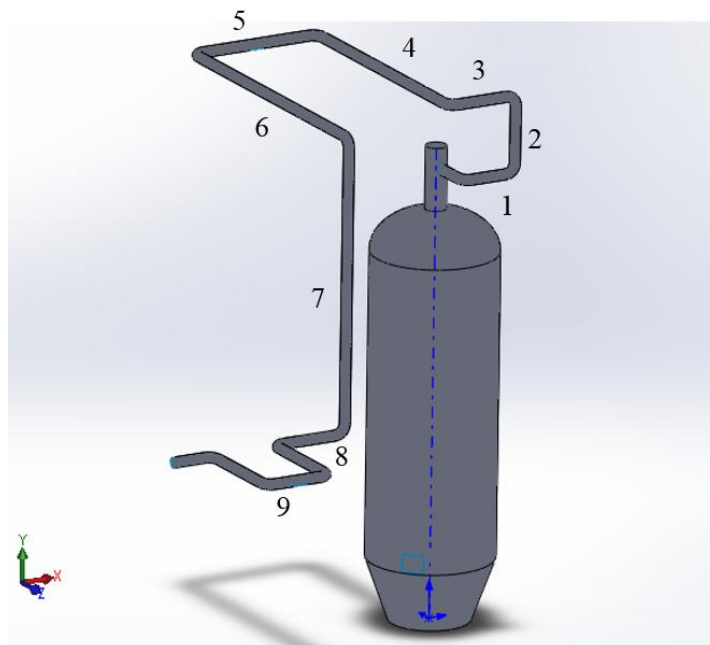


Рисунок 4. Расположение участков модели трубопровода

Таблица 1. Распределение напряжений в трубопроводной обвязке

Номер участка	Значения напряжений трубопроводной обвязки		Погрешность, %
	от весовой нагрузки в рабочем состоянии (расчет ПК «СТАРТ»), МПа	от весовой нагрузки (расчет ПК «SOLIDWORKS»), МПа	
1	2,65	2,39	9
2	2,42	2,12	12
3	2,49	2,15	13
4	1,52	1,36	10
5	1,11	0,97	12
6	1,10	0,98	10
7	1,63	1,22	25
8	1,58	1,36	13
9	1,68	1,27	24

Расхождение между стандартным решением в программном комплексе «СТАРТ» и численным экспериментом в программном комплексе SOLIDWORKS составляет не более 25 %.

Для проверки адекватности численного моделирования в программном комплексе SOLIDWORKS, была проведена процедура верификации результатов расчета НДС трубопроводной обвязки макета реактора и сравнение их с экспериментальным решением.

При проведении натуральных экспериментов на лабораторном стенде макета реактора, были измерены перемещения трубопроводной обвязки на отдельных участках, при отклонении оси реактора на 4,5 мм от вертикали [11]. Результаты были сравнены с расчетами в ПК SOLIDWORKS, которые представлены в таблице 2. Расположение участков и перемещение оси реактора от вертикали на 4,5 мм представлены на рисунке 5.

Таблица 2. Результаты расчета

мм	Перемещение трубопровода Δ, мм							
	Участок 1		Участок 2		Участок 3		Участок 4	
	Экспер.	SolidWorks	Экспер.	SolidWorks	Экспер.	SolidWorks	Экспер.	SolidWorks
4,5	13,5	13,2	10	10,2	4	4,1	5	4,7
Погрешность, %	2,2		1,9		2,4		6	

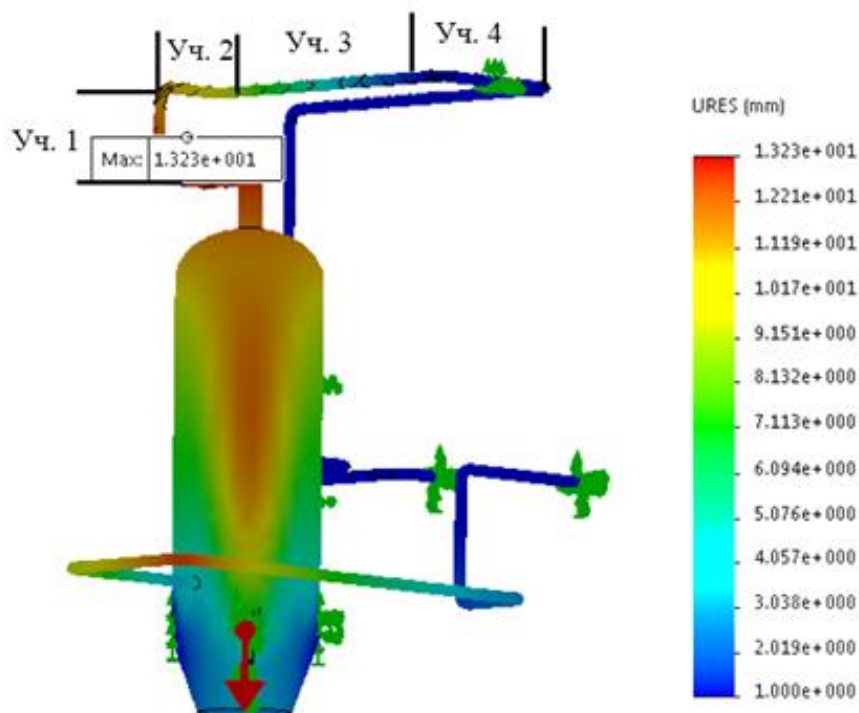


Рисунок 5. Расположение участков и перемещение оси реактора от вертикали на 4,5 мм

Верификация показала, что погрешность между экспериментальным решением и численным моделированием составляет не более 6 %.

Данный метод применим для анализа деформации трубопроводной обвязки от изменения положения оси реактора.

Выводы

Проведена оценка деформации перемещения трубопроводной обвязки при отклонении оси реактора от вертикали стандартными, численными и натурными методами, проведен сравнительный анализ полученных результатов.

Список используемых источников

1 Тляшева Р. Р. Кузеев И. Р. Принципы обеспечения безопасной эксплуатации объектов предприятий нефтепереработки // Нефтегазовое дело. 2005. Т. 3. С. 285-291.

2 Мониторинг опасных производственных объектов нефтегазовой отрасли /Р. Р. Тляшева, А. Г. Чиркова, В. Р. Идрисов, Е. М. Ковалев, Е. В. Давыдова // Нефтегазовое дело. 2006. Т. 4, № 2. С. 108-123.

3 Гостёнова Е. А., Тляшева Р. Р., Кузеев И. Р. Оценка влияния трубопроводной обвязки на взрывоустойчивость аппарата колонного типа // Нефтегазовое дело. 2010 Т.1. С.26.

4 Габбасова А. Х., Шаталина М. А., Журавлев С. В. Оценка долговечности технологических трубопроводов // Нефтегазовое дело. 2002. Т.1. С. 20.

5 Рафикова З. Р., Тляшева Р. Р., Кузнецов А. А. Виды нагрузок, действующие на технологические трубопроводы в процессе эксплуатации// Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов. 2016. № 1 (7). С. 143-144.

6 РТМ 38.001-94 «Указания по расчету на прочность и вибрацию технологических стальных трубопроводов». М.: ВНИПИнефть, 1994. С.120.

7 РД 10-249-98 «Нормы расчета на прочность стационарных котлов и трубопроводов пара и горячей воды». М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2010. С. 342.

8 СНиП 2.04.12-86 «Расчет на прочность стальных трубопроводов». М.: Госстрой, 2016. С. 12.

9 Яковлева В. В., Мазина З. Р., Тляшева Р. Р. Распределение напряжений трубопроводной обвязки макета реактора, подверженной изгибным деформациям // Актуальные проблемы науки и техники. 2016. С. 71-72.

10 ГОСТ 8732-78 «Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Сортамент». М.: Госстандарт, 2007. С.10.

11 Кузнецов А. А. Разработка метода оценки неоднородности напряженно-деформированного состояния реакторов установки замедленного коксования: дис.... канд. техн. наук. Уфа: УГНТУ, 2007. С. 99.

References

1 Tlyasheva R. R., Kuzeev I. R. Principy obespecheniya bezopasnoj ehkspluatacii ob"ektov predpriyatij neftepererabotki // Neftegazovoe delo. 2005. T. 3. S. 285-291. [in Russian].

2 Monitoring opasnyh proizvodstvennyh ob"ektov neftegazovojotrasli / R. R. Tlyasheva, A. G. SHirkova, V. R. Idrisov, E. M. Kovalev, E. V. Davydova // Neftegazovoe delo. 2006. T. 4, № 2. S. 108-123. [in Russian].

3 Gostyonova E. A., Tlyasheva R. R., Kuzeev I. R. Ocenka vliyaniya truboprovodnoj obvyazki na vzryvoustojchivost' apparatakolonnoego tipa // Neftegazovoe delo. 2010. T.1. S. 26. [in Russian].

4 Gabbasova A. H., SHatalina M. A., ZHuravlev S. V. Ocenka dolgovechnosti tekhnologicheskikh truboprovodov // Neftegazovoe delo. 2002. T.1. S. 20. [in Russian].

5 Rafikova Z. R., Tlyasheva R. R., Kuznecov A. A. Vidy nagruzok, dejstvuyushchie na tekhnologicheskie truboprovody v processe ehkspluatatsii // EHkspertiza promyshlennoj bezopasnosti i diagnostika opasnyh proizvodstvennyh ob"ektov. 2016. № 1 (7). S. 143-144. [in Russian].

6 RTM 38.001-94 «Ukazaniya po raschetu na prochnost' i vibraciyu tekhnologicheskikh stal'nyh truboprovodov». 1994. S.120. [in Russian].

7 RD 10-249-98 «Normy rascheta na prochnost' stacionarnykh kotlov i truboprovodov para i goryachej vody». 2010. S. 342. [in Russian].

8 SNiP 2.04.12-86 «Raschet na prochnost' stal'nyh truboprovodov», 2016. S. 12. [in Russian].

9 Yakovleva V. V., Mazina Z. R., Tlyasheva R. R. Raspredelenie napryazhenij truboprovodnoj obvyazki maketa reaktora, podverzhennoj izgibnym deformaciyam // Aktual'nye problemy nauki i tekhniki. 2016. S. 71-72. [in Russian].

10 GOST 8732-78 «Truby stal'nye besshovnye goryachedeformirovannye. Sortament». 2007. S.10. [in Russian].

11 Kuznecov A. A. Razrabotka metoda ocenki neodnorodnosti napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya reaktorov ustanovki zamedlennogo koksovaniya: dis.... kand. tekhn. nauk. Ufa: UGNTU, 2007. S. 99. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Мазина З. Р., преподаватель кафедры «Технологические машины и оборудование» ФГБОУ ВО «УГНТУ» г. Уфа, Российская Федерация

Z. R. Mazina, Lecturer of the Chair «Technological machinery and equipment» FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

e-mail: zarina_rafikova@mail.ru

Яковлева В. В., магистрант кафедры «Технологические машины и оборудование» ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

V. V. Yakovleva, Master Student of the Chair «Technological machinery and equipment» FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

Кульшарипов И. М., преподаватель кафедры «Технологические машины и оборудование» ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

I. M. Kulsharipov, Lecturer of the Chair «Technological machinery and equipment» FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

Тляшева Р. Р., д-р техн. наук, профессор кафедры «Технологические машины и оборудование» ФГБОУ ВО «УГНТУ» г. Уфа, Российская Федерация

R. R. Tlyasheva, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Chair «Technological machinery and equipment» FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation