

УДК.621.771.23

**Коновалов Ю. В.
Кармазина И. В.****НЕРЕШЁННЫЕ ЗАДАЧИ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕСТИ**

Жесть является одним из лучших упаковочных материалов в пищевой и химической промышленности. Тара из жести имеет возможность длительного хранения, удобна в транспортировке, легко поддается рециркуляции [1]. Чёрную жести сегодня подвергают лужению [2], хромированию, омеднению, оцинкованию, никелированию, нанесению органических покрытий, лакированию и пр. Во многих случаях хромированная жести является хорошей альтернативой лужённой, например, в случае операций глубокой вытяжки. К тому же, поверхность хромированной жести идеальна для нанесения лака и других покрытий. Жести с органическими покрытиями используется в строительной, автомобильной промышленности, производстве мебели, бытовой техники, систем отопления и вентиляции воздуха и пр. Такое разнообразие применений является результатом ключевых свойств материала, на который наносится защитное покрытие, т. е. – сталь, – прочность, высокая пластичность, экологичность. Эти факторы свидетельствуют об актуальности применения жести тары не только в настоящее время, но и в будущем [3].

Целью работы является обоснование необходимости организации современного производства жести в Украине, а также определение теоретических, технологических и организационных задач, требующих решения.

Одной из важнейших задач при планировании современного производства жести является определение мировых тенденций и требований, предъявляемых к её сортаменту и качеству. Современным сортаментом жести является: толщина 0,13–0,50; ширина 712–1 024, редко до 1 200 мм. Качество жести регламентируют международными стандартами ISO 11949:1995, европейским стандартом (Евросоюз) EN 10202:2004 и национальными стандартами различных стран. С каждым годом предъявляются более жесткие требования к качеству, химическому составу стали, расширяется размерный сортамент жести. Так, в Российской Федерации в 2004 г. введен в действие ГОСТ Р 52204-2004, предусматривающий производство жести с толщиной от 0,14 до 0,36 мм (с интервалом между размерами 0,01 мм) в рулонах и листах шириной 600–1 050 мм и длиной в листах 400–1 200 мм [4–6], обеспечивающий переход российских производителей жести к мировым стандартам. Производство жести в Украине до сих пор регламентируется стандартом ГОСТ 13345-85, разработанным ещё в Советском Союзе и предусматривающим производство жести с толщиной 0,18; 0,20; 0,22; 0,25; 0,28; 0,32; 0,36 мм из стали марок 08кп, 08пс, 10кп, 10пс (с химическим составом по ГОСТ 1050-74) с пятью классами твердости – А1, А2, В, С, Д. Однозначно, что при организации современного производства жести в Украине необходимо разрабатывать новую нормативную документацию, регламентирующую производство и поставку жести, соответствующей мировым стандартам.

Расширение сортамента холоднокатаных полос и жести, повышение требований к показателям их качества, а также увеличение скорости прокатки обусловили актуальность дальнейшего развития методов расчета процесса непрерывной холодной прокатки тонких полос и жести.

Современные методы расчёта средних значений нормальных контактных напряжений [7–9] наиболее полно учитывают влияние на напряженное состояние металла таких факторов, как инерционные силы, температурно-скоростные условия прокатки, а также упругие деформации рабочих валков и прокатываемой полосы.

В тоже время в теоретическом моделировании процесса холодной прокатки жести еще остаются некоторые вопросы, требующие уточнения. Так, например, в работе [10] приведены результаты исследования влияния исходной толщины полосы и обжатия на отно-

сительную скорость заднего конца полосы и силу прокатки в последней клетке непрерывного стана холодной прокатки, согласно которым применение больших обжатий в последней клетке стана приводит к существенному снижению силы прокатки, что противоречит общепринятому принципу пропорциональной зависимости этих параметров. Поэтому современная математическая модель для расчёта средних значений нормальных контактных напряжений при холодной прокатке полос и жести, по всей видимости, должна учитывать и возможность обратной зависимости давления металла на валки от величины обжатия.

Еще одним важным фактором при моделировании процесса холодной прокатки тонких полос и жести является учёт некруглой формы дуги контакта [11].

При разработке рациональных режима обжатий и технологии производства жести невозможно не учитывать явление упрочнения. При прокатке жести, как известно, суммарное относительное обжатие достигает 90 % и наблюдается интенсивное упрочнение металла. Использование запаса пластичности металла при холодной прокатке может приводить к трещинообразованию [12]. Поэтому при разработке режимов обжатий для холодной прокатки полос и жести на непрерывных станах особое значение приобретает определение степени использования запаса пластичности металла.

Прокатку жести с толщиной 0,16–0,5 мм осуществляют в четырёхвалковых клетях пяти- и шестиклетевого непрерывного стана холодной прокатки [3] или в шестивалковых клетях четырёхклетевого стана [13]. Имеется предложение о применении семиклетевого стана [14, 15]. При небольших объемах производства за рубежом применяют для прокатки реверсивные одноклетевые станы. Жесть меньшей толщины 0,13–0,16 мм получают двукратной (повторной) прокаткой на двух- или (реже) трёхклетевых прокатно-дрессировочных станах после проведения промежуточного отжига [16]. Многообразие применяемых станов для холодной прокатки жести во всем мире обуславливает необходимость определения целесообразности их применения с точки зрения сортамента и качества жести, объёмов производства и уровня энергозатрат, а также установления оптимального агрегата.

Для решения поставленной задачи по определению оптимального агрегата для прокатки жести нами проведено экспериментальное исследование на базе промышленно-лабораторного стана 300/260×250 Донбасской государственной машиностроительной академии. Поскольку прокатный стан 300/260×250 одноклетевой, то полную имитацию непрерывной прокатки полос осуществить не удалось. Было принято решение изготавливать образцы для листовой прокатки, соответствующей непрерывной при равенстве переднего и заднего натяжений.

Образцы изготовили из горячекатаного листа толщиной 2 мм стали марки 08кп, прокатанного на ШСГП 1700 ПАО «ММК им. Ильича» и отобранного из середины пачки предварительно промасленных листов, что исключило наличие окислов на его поверхности. Порезка листа на полосы шириной 40 мм и длиной 325 мм производилась гидравлическими гильотинными ножницами. Выбор размера образцов был обусловлен силовыми и конструктивными ограничениями стана 300/260×250, а также требованиями к размерам образцов для проведения механических испытаний. Исследование химического состава стали и предела текучести подготовленных исходных образцов проводилось на оборудовании ЦЗЛ ПАО «ММК им. Ильича» и ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ».

Таблица 1

Химический состав стали и предел текучести исходных образцов

Массовая доля элементов, %								$\sigma_{\text{тисх}}$, МПа
C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	
0,05	<0,01	0,33	0,02	0,016	0,013	0,03	0,04	285

Поскольку основная задача на данном этапе была – выбор рационального оборудования с точки зрения числа устанавливаемых клетей для прокатки жести, то были разработаны схемы, имитирующие процесс прокатки жести в пяти-, шести- и семиклетевом непрерывных станах. Схемы прокатки и отбора образцов представлены на рис. 1.

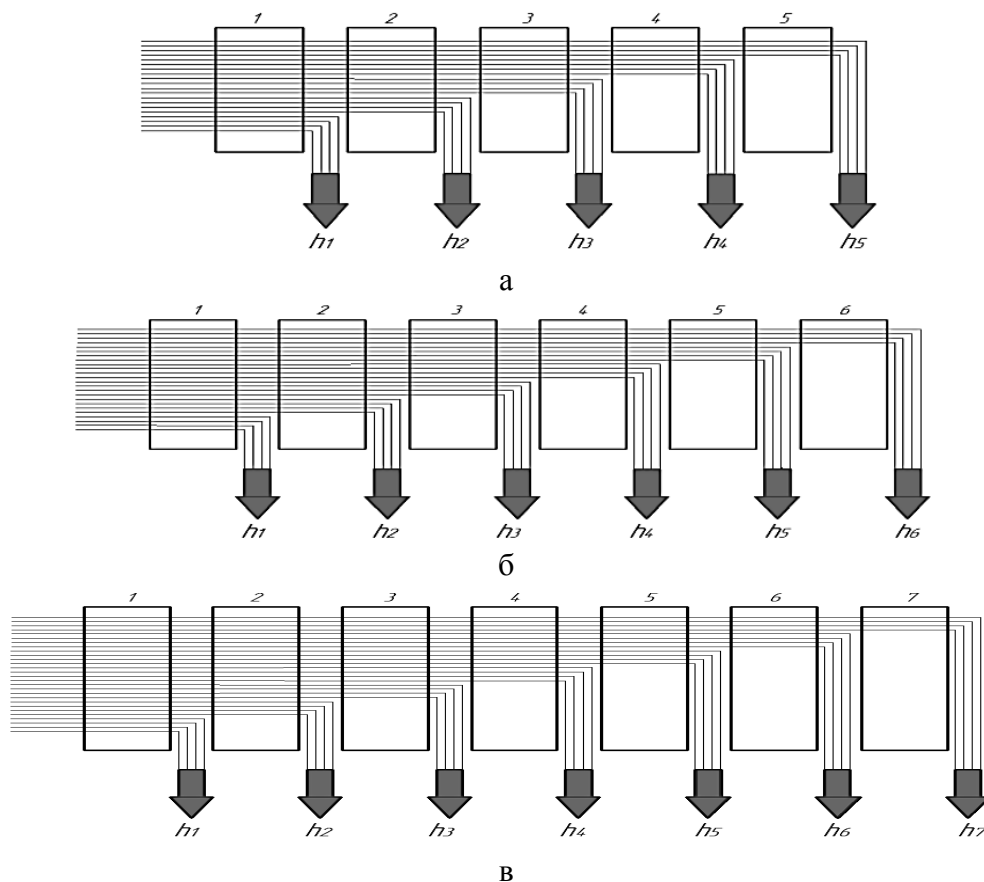


Рис. 1. Схемы прокатки и отбора образцов при проведении эксперимента для непрерывных станов (1–7 – номера клетей непрерывного стана; h_1 – h_7 – толщина образца после прокатки в соответствующей клетке):

а – пяти-; б – шести-; в – семиклетевой непрерывный стан

Для каждой схемы прокатки были разработаны режимы деформации (табл. 2–4), позволяющие моделировать процесс непрерывной холодной прокатки жести на пяти-, шести- и семиклетевом стане соответственно.

Таблица 2

Режим обжатий для моделирования процесса прокатки на пятиклетевом стане

Параметр	Номер пропуска				
	1	2	3	4	5
h_{i-1} , мм	2,00	1,40	0,91	0,59	0,33
h_i , мм	1,4	0,91	0,59	0,33	0,16
Δh , мм	0,6	0,49	0,32	0,27	0,16
η	1,43	1,54	1,54	1,82	2,00
ε , %	30,00	35,00	35,00	45,00	50,00
$\sum \varepsilon$, %	30,00	55,00	70,00	84,00	92,00

Таблица 3

Режим обжатий для моделирования процесса прокатки на шестиклетевом стане

Параметр	Номер пропуска					
	1	2	3	4	5	6
h_{i-1} , мм	2,00	1,80	1,40	1,00	0,60	0,32
h_i , мм	1,80	1,40	1,00	0,60	0,32	0,16
Δh , мм	0,20	0,40	0,40	0,40	0,28	0,16
η	1,11	1,29	1,40	1,67	1,88	1,99
ε , %	10,00	22,00	29,00	40,00	47,00	50,00
$\Sigma\varepsilon$, %	10,00	30,00	50,00	70,00	84,00	92,00

Таблица 4

Режим обжатий для моделирования процесса прокатки на семиклетевом стане

Параметр	Номер пропуска						
	1	2	3	4	5	6	7
h_{i-1} , мм	2,00	1,60	1,28	1,00	0,72	0,47	0,27
h_i , мм	1,60	1,28	1,00	0,72	0,47	0,27	0,16
Δh , мм	0,40	0,32	0,28	0,28	0,25	0,20	0,11
η	1,25	1,25	1,28	1,39	1,54	1,72	1,67
ε , %	20,00	20,83	22,00	28,00	35,00	42,00	40,00
$\Sigma\varepsilon$, %	20,00	36,00	50,00	64,00	77,00	86,00	92,00

Режимы деформации разработаны, исходя из опыта эксплуатации современных непрерывных станов холодной прокатки жести и из условия равномерной загрузки клетей по силе и моменту прокатки, а также в соответствии с рекомендациями [11], согласно которым большое значение имеет выбор обжатий для первой и последней клетки стана. Обжатия, установленные для последней клетки каждого разработанного режима, практически равны обжатиям предыдущей клетки, что не соответствует рекомендациям работы [17], но объясняется тем, что при условии прокатки уже наклепанных полос на конкретной клетки лабораторно-промышленного стана сила прокатки стала бы превышать допустимое значение.

Так, например, деформацию образцов по схеме, представленной на рис. 1, а, в соответствии с режимом обжатия, разработанного для моделирования процесса прокатки в пятиклетевом стане (табл. 2), осуществляли следующим образом. Всю группу, состоящую из двадцати образцов, прокатали с обжатием первого пропуска. Из всей группы прокатанных образцов отобрали четыре для исследования механических свойств стали после первого пропуска, а также возможности проведения статистической обработки данных. Оставшиеся шестнадцать образцов прокатали с обжатием второго пропуска, после чего снова отобрали четыре образца. Последующие группы, состоящие из 12, 8 и 4 образцов, прокатали с обжатием третьего, четвёртого и пятого пропуска соответственно.

Прокатку и отбор образцов по другим схемам (рис. 1, б, в) осуществили по тому же принципу в соответствии с предварительно разработанными режимами обжатий (табл. 3, 4). При прокатке в качестве смазки использовали пальмовое масло, которое подавали на полосу перед задачей в валки стана.

В ходе прокатки осуществляли запись текущих во времени значений силы прокатки при помощи светолучевых осциллографов Н-145 и ЭВМ со встроенным аналого-цифровым преобразователем АЦП–ADC16–32, обеспечивающим возможность измерения по шестнадцати дифференцированным каналам. Тарировка измерителей силы прокатки произведена на прессе путем его нагружения силами известной величины и получения соответствующих осциллограмм.

Механические испытания прокатанных образцов проводили в условиях центральной лаборатории ПАО «ММК им. Ильича» с использованием оборудования: ZDM (zyklische dehnung maschine) – для определения пределов текучести и прочности, а также прибор типа ТКС-1 (твердомер с конусом Суперроквелл) – для определения твердости.

Полученные результаты позволяют выдать практические рекомендации по составу оборудования и технологии производства жести.

ВЫВОДЫ

Украина располагает большими рыбными и мясными ресурсами, выращивает большие объемы овощей и фруктов, имеет консервную промышленность, но не имеет современного производства жести. Поэтому актуальной и пока нерешенной задачей является организация современного производства жести, что обуславливает выбор предприятия, на котором это желательно сделать, определить объемы производства и параметры оборудования, а также режимов прокатки и дрессировки жести. Для этого необходимо выполнить ряд технологических, теоретических и организационных задач.

При комплексной разработке технологии производства жести необходимо учесть влияние таких факторов как учёт обратнопропорциональной зависимости силы прокатки от величины относительного обжатия, некруглой формы дуги контактной поверхности и степени использования запаса пластичности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коновалов Ю. В. *Современное состояние производства жести. Перспективы развития* / Ю. В. Коновалов, И. В. Мусихина // *Обработка материалов давлением: сборник научных трудов.* – Краматорск : ДГМА, 2012. – № 4 (33). – С. 142–145.
2. Astengo G. *Operating success of insoluble anodes for tinplate* / G. Astengo, L. Rombi, T. Deloia // *Iron and steel review.* – 2009. – January. – С. 66–70.
3. Коновалов Ю. В. *Анализ тенденций мирового развития производства жести* / Ю. В. Коновалов, А. Г. Присяжный, И. В. Кармазина // *Металл и литьё Украины.* – 2015. – № 1 (260). – С. 3–6.
4. *Совершенствование производства жести* / Н. Н. Ильина, А. В. Кушнарев, Р. И. Черкасский, Р. В. Файзулина [и др.] // *Труды четвертого конгресса прокатчиков: ОАО «Черметинформация», 2006.* – № 6. – С. 242–244.
5. *Совершенствование технологии производства тонкой жести однократной прокатки* / А. А. Дьяконов, О. Н. Молева, Ю. А. Мельников [и др.] // *Сталь, 2012.* – № 3. – С. 34–35.
6. *Освоение производства особо тонкой жести однократной прокатки* / В. В. Галкин, С. В. Денисов, О. Н. Молева [и др.] // *Сталь, 2009.* – № 10. – С. 61–62.
7. Капланов В. И. *Динамика и трибоника высокоскоростной тонколистовой прокатки. Мировая тенденция и перспектива: монография* / В. И. Капланов – Мариуполь : Из-во «Рената». – 2008. – 456 с.
8. Гарбер Э. А. *Производство проката: Справочное издание. Том I. Производство холоднокатаных полос и листов (сортамент, теория, технология, оборудование)* / Э. А. Гарбер – М. : Теплотехник. – 2007. – 368 с.
9. Василёв Я. Д. *Инженерная модель средних нормальных контактных напряжений при холодной прокатке полос* / Я. Д. Василев, Д. В. Коноводов, А. В. Дементийенко // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2006. – № 1. – С. 45–48.
10. Мазур В. Л. *Теория и технология тонколистовой прокатки (численный анализ и технологические приложения)* / В. Л. Мазур, А. В. Ноговицын. – Днепропетровск : РВА «Дніпро-VAL», 2010. – 500 с.
11. *Холодная прокатка и отделка жести* / А. Ф. Пименов, О. Н. Сосковец, А. И. Трайно, В. Л. Трайно, Н. П. Нетесов. – М. : Металлургия, 1990. – 208 с.
12. Федоринов В. А. *Математическое моделирование напряжений, деформаций и основных показателей качества при прокатке относительно широких листов и полос: монография* / В. А. Федоринов, А. В. Сатонин, Э. П. Грибков. – Краматорск : ДГМА, 2010. – 244 с.
13. *New tandem cold rolling mill at Toyo Works* / A. Hiraiwa, S. Nouchi, M. Toshinori et al. // *CAMP-ISIJ.* – 2002. – № 15. – С. 321–323.
14. Патент UA 56585 U Україна, МПК B21В 9/00, B21Н 1/00. *Багатокільмовий безперервний стан холодного прокатування тонких штаб та жерсті* / В. І. Капланов, А. Г. Присяжний, Н. В. Лепорська, О. В. Капанова, О. В. Шемякін, А. В. Васекін – №u201005396; заявл. 05.05.2010; опубл. 25.01.2011, Бюллетень № 2.

15. Современный суперскоростной непрерывный тонколистовой стан холодной прокатки / В. И. Капланов, А. В. Шемякин, А. Г. Присяжный [и др.] // Международная научно-техническая конференция «Университетская наука – 2010»: сб. тезисов докладов в 3-х томах. – Мариуполь : ПГТУ, 2011. – С. 132–133.

16. Василев Я. Д. Производство жести методом двойной прокатки / Я. Д. Василев, А. В. Дементуенко, С. Г. Горбунков. – М. : Metallurgia, 1994. – 125 с.

17. Василев Я. Д. Концепция развития прокатного производства комбината «Запорожсталь» / Я. Д. Василев, А. Ю. Путники, А. В. Симененко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 2006. – № 2. – С. 48–51.

REFERENCES

1. Konovalov Ju. V. *Sovremennoe sostojanie proizvodstva zhesti. Perspektivy razvitija* / Ju. V. Konovalov, I. V. Musihina // *Obrabotka materialov davleniem: sbornik nauchnyh trudov*. – Kramatorsk : DGMA, 2012. – № 4 (33). – С. 142–145.

2. Astengo G. *Operating success of insoluble anodes for tinplate* / G. Astengo, L. Rombi, T. Deloia // *Iron and steel review*. – 2009. – January. – С. 66–70.

3. Konovalov Ju. V. *Analiz tendencij mirovogo razvitija proizvodstva zhesti* / Ju. V. Konovalov, A. G. Prisyazhnyj, I. V. Karmazina // *Metall i lit'jo Ukrainy*. – 2015. – № 1 (260). – С. 3–6.

4. *Sovershenstvovanie proizvodstva zhesti* / N. N. Il'ina, A. V. Kushnarev, R. I. Cherkasskij, R. V. Fajzzulina [i dr.] // *Trudy chetvertogo kongressa prokatchikov: OAO «Chermetinformacija»*, 2006. – № 6. – С. 242–244.

5. *Sovershenstvovanie tehnologii proizvodstva tonkoj zhesti odnokratnoj prokatki* / A. A. D'jakonov, O. N. Moleva, Ju. A. Mel'nikov [i dr.] // *Stal'*, 2012. – № 3. – С. 34–35.

6. *Osvoenie proizvodstva osobo tonkoj zhesti odnokratnoj prokatki* / V. V. Galkin, S. V. Denisov, O. N. Moleva [i dr.] // *Stal'*, 2009. – № 10. – С. 61–62.

7. Kaplanov V. I. *Dinamika i tribonika vysokoskorostnoj tonkolistovoj prokatki. Mirovaja tendencija i perspektiva: monografija* / V. I. Kaplanov – Mariupol' : Iz-vo «Renata». – 2008. – 456 s.

8. Garber Je. A. *Proizvodstvo prokata: Spravochnoe izdanie. Tom I. Proizvodstvo holodnokatanyh polos i listov (sortament, teorija, tehnologija, oborudovanie)* / Je. A. Garber – М. : Teplotehnik. – 2007. – 368 s.

9. Vasil'ov Ja. D. *Inzhenernaja model' srednih normal'nyh kontaktnyh naprjazhenij pri holodnoj prokatke polos* / Ja. D. Vasilev, D. V. Konovodov, A. V. Dementienko // *Metallurgicheskaja i gornorudnaja promyshlennost'*. – 2006. – № 1. – С. 45–48.

10. Mazur V. L. *Teorija i tehnologija tonkolistovoj prokatki (chislennyj analiz i tehnologicheskie prilozhenija)* / V. L. Mazur, A. V. Nogovicyn. – Dnepropetrovsk : RVA «Dnipro-VAL», 2010. – 500 s.

11. *Holodnaja prokatka i otdelka zhesti* / A. F. Pimenov, O. N. Soskovec, A. I. Trajno, V. L. Trajno, N. P. Netesov. – М. : Metallurgija, 1990. – 208 s.

12. Fedorinov V. A. *Matematicheskoe modelirovanie naprjazhenij, deformacij i osnovnyh pokazatelej kachestva pri prokatke odnositel'no shirokih listov i polos: monografija* / V. A. Fedorinov, A. V. Satonin, Je. P. Gribov. – Kramatorsk : DGMA, 2010. – 244 s.

13. *New tandem cold rolling mill at Toyo Works* / A. Hiraiwa, S. Nouchi, M. Toshinori et al. // *CAMP-ISIJ*. – 2002. – № 15. – С. 321–323.

14. Patent UA 56585 U Ukraina, MPK V21V 9/00, V21N 1/00. *Bagatoklit'ovij bezperernij stan holodnogo prokatuvannja tonkih shtab ta zhersti* / V. I. Kaplanov, A. G. Prisyazhnyj, N. V. Lepors'ka, O. V. Kaplanova, O. V. Shemjakin, A. V. Vasekin – №u201005396; zajavl. 05.05.2010; opubl. 25.01.2011, B'ulleten' № 2.

15. *Sovremennij superskorostnoj nepreryvnyj tonkolistovoj stan holodnoj prokatki* / V. I. Kaplanov, A. V. Shemjakin, A. G. Prisyazhnyj [i dr.] // *Mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija «Universitetskaja nauka – 2010»: sb. tezisov dokladov v 3-h tomah*. – Mariupol' : PGTU, 2011. – С. 132–133.

16. Vasilev Ja. D. *Proizvodstvo zhesti metodom dvojnoj prokatki* / Ja. D. Vasil'ov, A. V. Dementienko, S. G. Gorbunkov. – М. : Metallurgija, 1994. – 125 с.

17. Vasil'ov Ja. D. *Koncepcija razvitija prokatnogo proizvodstva kombinata «Zaporozhstal'»* / Ja. D. Vasil'ov, A. Ju. Putniki, A. V. Simenenko // *Metallurgicheskaja i gornorudnaja promyshlennost'*, 2006. – № 2. – С. 48–51.

Коновалов Ю. В. – д-р техн. наук, проф. ДонНТУ

Кармазина И. В. – аспирант ГВУЗ «ПГТУ»

ДонНТУ – Донецкий национальный технический университет, г. Донецк;

ГВУЗ «ПГТУ» – Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь.

E-mail: pochta1.irina@rambler.ru; volk_ludka@mail.ru