

## ВИСКОЗИМЕТР ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СЖИГАНИЯ МАЗУТА В МАРТЕНОВСКИХ ПЕЧАХ

Древецкий В.В.

Национальный авиационный университет, г.Киев

Кафедра информационных технологий

E-mail:kvp@nau.edu.ua

### Abstract

*Dreveckii V.V. Viscosimeter for automatic control systems of fuel oil burning process in martin furnaces. The design and the principle of automatic fuel oil viscosimeter operation is considered. The results of experimental research of fuel oil burning process in martin furnaces are shown and the value of kinematic viscosity providing optimum radiating characteristics and the form of the plume is determined.*

**Общая постановка проблемы.** В мартеновских печах технологический процесс является периодическим, кроме того, он состоит из ряда последовательных стадий, на каждой из которых конкретные требования к температурному режиму печи и к мазутному факелу изменяются, причем требования эти разнообразны, а иногда и противоречивы. Одним из основных параметров, определяющим производительность и экономичность работы мартеновских печей, являются форма и радиационные характеристики факела. Мазутный факел должен быть светящимся, т.е. обладать максимально высокой степенью черноты при высокой температуре. Другими важными характеристиками факела мартеновской печи является его длина, настильность и жесткость. Названные характеристики факела определяются типом применяемых форсунок и степенью распыливания топлива. Влияние физико-механических свойств мазута на процессы распыливания, при использовании разнотипных форсунок, проанализировано в работах [1,2]. Установлено, что на этот процесс влияют такие параметры топлива, как плотность, поверхностное натяжение и кинематическая вязкость. Плотность мазута незначительно влияет на процесс распыливания и на величину капель. Она определяет инерционные силы, от которых зависит дальноточность факела. Плотность мазута разных марок изменяется незначительно и поэтому ее влиянием можно пренебречь. Поверхностное натяжение различных марок мазута отличается на (7-8)% и при увеличении температуры изменяется незначительно. Наиболее существенно отличаются разные марки и отдельные партии мазута по вязкости. Силы вязкостного трения не только влияют на процесс дробления капель, но также являются определяющими при формировании профиля скоростей и потерь энергии потока топливно-воздушной смеси. Таким образом, можно утверждать, что значение кинематической вязкости мазута при постоянном его давлении перед форсункой, определяет степень распыливания топлива и эффективность его сгорания.

**Анализ публикации и разработок по теме.** Существующие системы подготовки топлива и сжиганию в мартеновских печах основаны на предварительном подогреве мазута со стабилизацией заданного значения его температуры [3,4]. Однако, поскольку мазуты даже одной марки существенно отличаются друг от друга вязкостно-температурными характеристиками [1], то стабилизируя температуру топлива перед форсункой, нельзя установить такое значение вязкости, которое обеспечивает требуемую форму факела и полное сжигание топлива.

**Постановка задачи исследования.** Целью данного исследования была разработка автоматического вискозиметра кинематической вязкости, позволяющего непрерывно на

потоке измерять вязкость мазута перед форсункой и стабилизировать ее оптимальное значение путем изменения температуры топлива. При этом возникает необходимость экспериментального исследования процесса сжигания мазута в мартеновской печи с целью определения оптимального, для выбранного типа форсунки значения кинематической вязкости мазута.

**Результаты исследований.** Для непрерывного измерения кинематической вязкости мазута в потоке разработан вискозиметр на основе гидродинамического метода измерения физико-механических характеристик жидкостей (Рис.1).

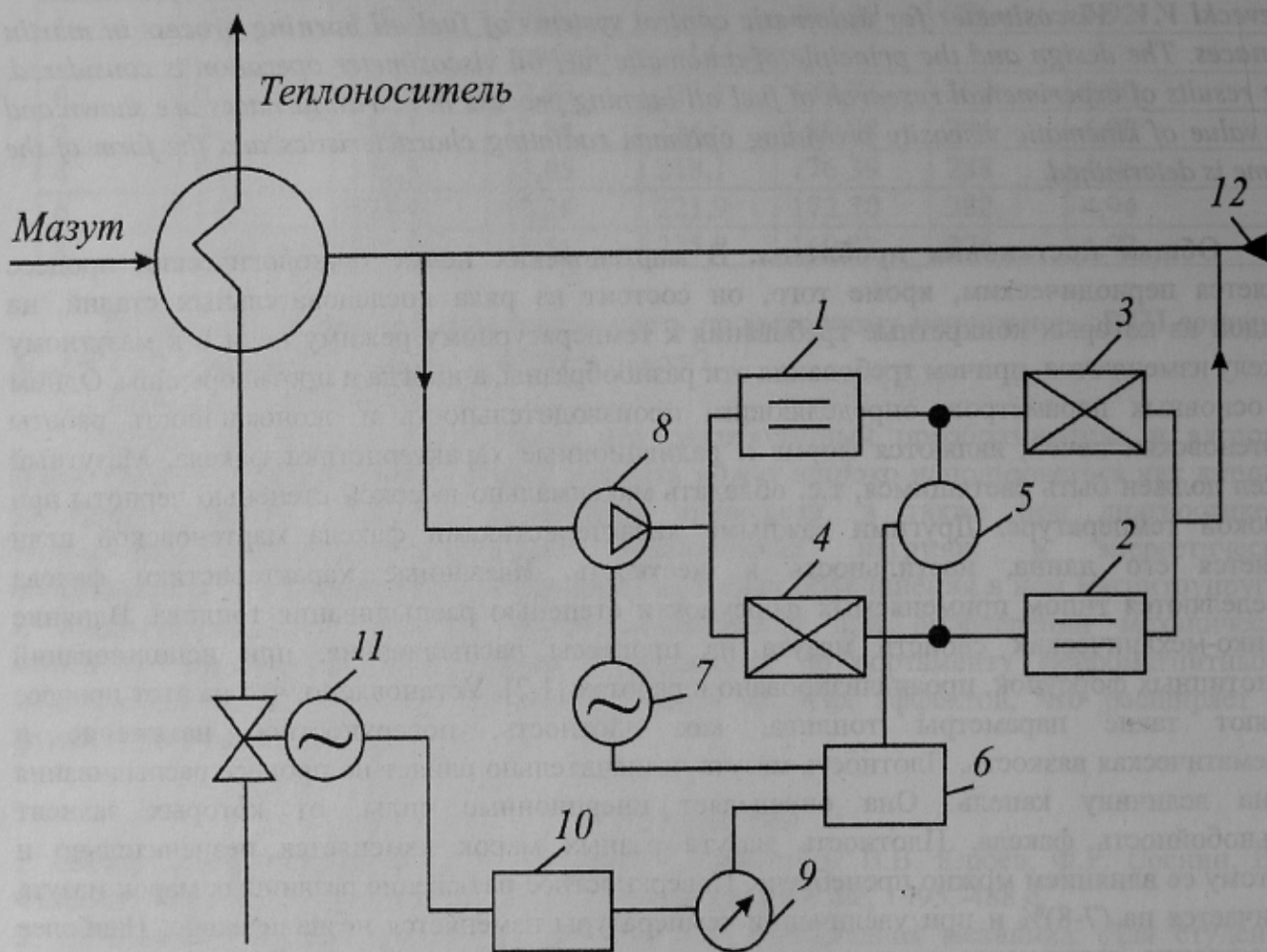


Рис.1 - Структурная схема системы автоматического управления процессом сжигания мазута:

1,2 – ламинарные дроссели; 3,4 – турбулентные дроссели; 5 – нуль-индикатор; 6 – регулятор скорости электропривода; 7 – моторредуктор; 8 – дозирующий насос; 9 – регистрирующий прибор; 10 – регулятор расхода теплоносителя; 11 – регулирующий орган; 12 – форсунка.

Он содержит первичный преобразователь, состоящий из ламинарных 1,2 и турбулентных 3,4 дросселей, соединенных в мостовую гидравлическую схему, нуль-индикатор 5, который соединен посредством автоматического регулятора скорости электропривода 6 и моторредуктора 7 с дозирующим насосом объемного типа 8. Регистрирующий прибор 9 соединен с автоматическим регулятором скорости 6. Сигнал с регистрирующего прибора 9 вискозиметра, при автоматическом управлении процессом сжигания поступает на регулятор расхода теплоносителя 10, который управляет регулирующим органом 11.

Принцип действия вискозиметра основан на уравнивании мостовой гидравлической схемы изменением расхода мазута, величина которого в момент равновесия прямо пропорциональна его кинематической вязкости [5]. В зависимости от сигнала разбаланса, поступающего с нуля-индикатора 5, автоматический регулятор скорости 6 изменяет скорость вращения рабочих органов дозирующего насоса 8 в направлении, обеспечивающем приведение мостовой гидравлической схемы в состоянии равновесия. Сигнал, пропорциональный скорости вращения насоса, а следовательно, и величине расхода мазута через первичный преобразователь в момент равновесия мостовой схемы, поступает с регулятора 6 на вторичный прибор 9, где регистрируется непосредственно в единицах измерения кинематической вязкости.

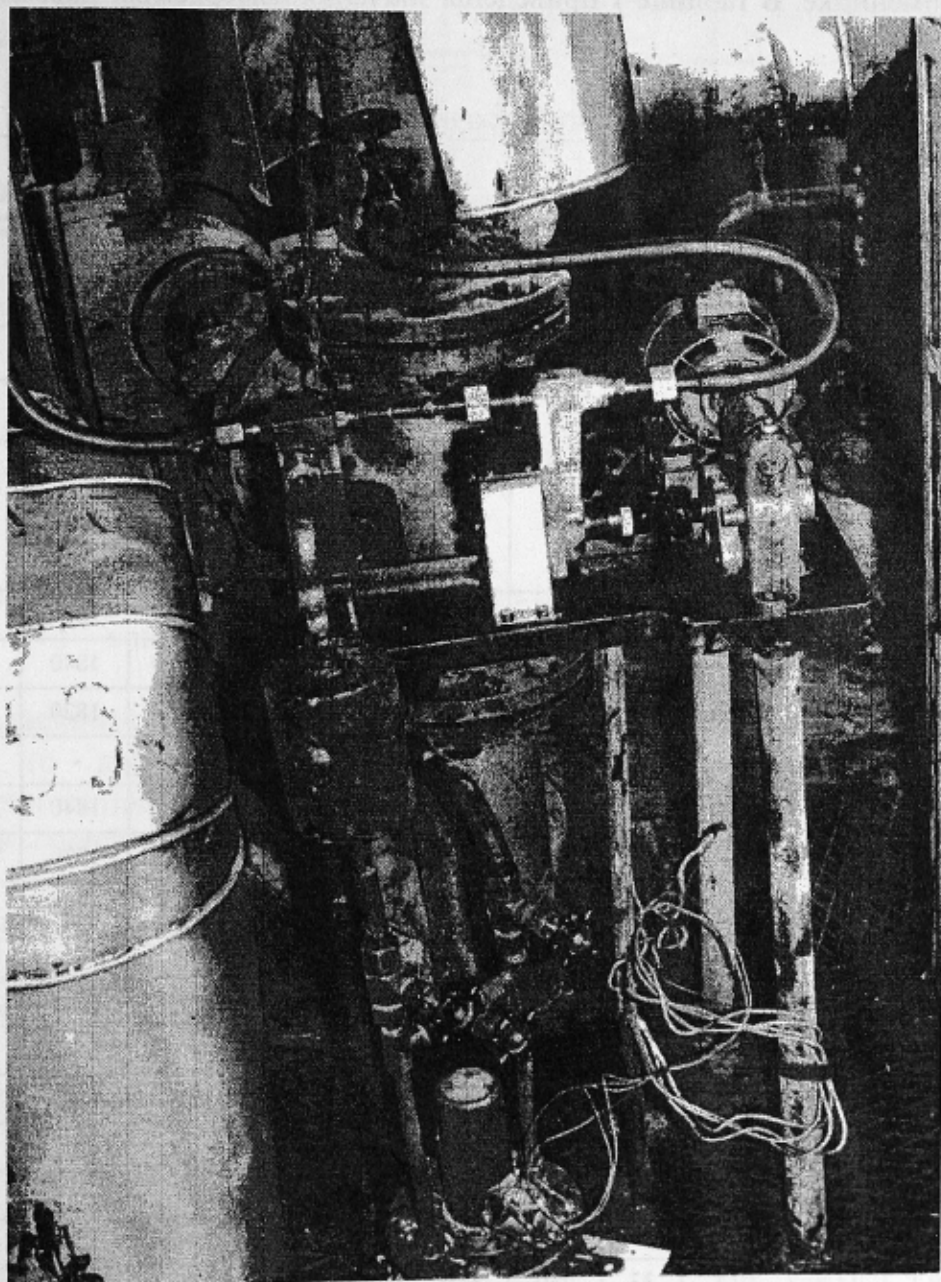


Рис. 2 - Первичный преобразователь автоматического вискозиметра мазута

Экспериментальные исследования по определению влияния кинематической вязкости мазута на форму и радиационные характеристики факела были проведены в мартеновском цехе №2 Карагандинского металлургического комбината. При проведении опытных плавки

на печи №4 контролировали расход, и давление мазута, температуру насадок, расход компрессорного и вентиляторного воздуха, температуру и состав отходящих газов, температуру факела и кинематическую вязкость мазута с помощью разработанного вискозиметра, который устанавливался на байпасе мазутопровода перед форсункой.

Температуру факела  $T_f$  определяли оптическим пирометром, форма факела контролировалась визуально. Мартеновская печь работала на мазуте марки М100, который распылялся механической струйной форсункой с цилиндрическим соплом. Все технологические параметры, за исключением кинематической вязкости мазута, изменяли согласно технологической инструкции, а вязкость во время экспериментов изменялась в широких пределах от 15 до 60 мм<sup>2</sup>/с за счет изменения расхода пара, идущего на подогрев мазута в теплообменнике. В таблице 1 приведены значения измеряемых параметров в одной из плавов.

Таблица 1. Значения измеряемых параметров в одной из плавов

Время, ч-мин	Расход мазута, т/ч	Т-ра верха лев. насадки, 100 °С	Т-ра верха прав. насадки, 100 °С	Давление мазута, кг/см <sup>2</sup>	Расход вентил. воздуха, м <sup>3</sup> /ч	Расход компрес. воздуха, м <sup>3</sup> /ч	Т-ра отход. газов, °С	Кинемат. вязкость мазута, мм <sup>2</sup> /с	Температура мазута, °С	Температура по завал. окнам °С		Состав отходящих газов, %		
										1	2	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO
10-28	1,9	12,0	11,5	8,5	33	240	640	48,8	56,5	1920	1820	-	-	-
10-42	1,85	12,0	11,5	10,0	0	250	640	44,4	57,0	1930	1840	-	-	-
10-55	1,85	12,0	11,5	10,9	0	230	640	48,5	58,0	1905	1820	-	-	-
11-00	1,9	12,0	11,6	11,2	20	235	640	48,5	58,0	-	-	14,6	1,4	-
11-15	2,05	11,8	11,7	9,0	20	230	638	46,0	58,5	1920	1840	-	-	-
11-18	2,2	12,0	11,3	9,5	10	235	620	45,5	59,0	1915	1830	14,0	0,2	0,6
11-30	1,9	11,8	11,4	9,2	0	235	630	43,5	59,0	1930	1830	-	-	-
11-35	1,8	11,4	11,8	9,2	0	245	630	42,0	61,0	-	-	14,1	0,5	0
11-45	1,8	11,4	11,7	8,4	20	240	630	37,0	64,5	1915	1830	-	-	-
11-50	2,0	12,1	11,3	13,6	0	244	630	37,0	65,0	1900	1820	-	-	-
11-55	1,85	П,1	12,0	9,0	0	255	630	35,0	66,5	1900	1820	12,2	0,4	1,8
12-00	1,85	10,7	12,5	9,0	0	250	630	34,0	68,0	-	-	-	-	-
12-05	1,9	11,9	11,5	10,0	0	240	639	33,7	69,0	-	-	11,4	1,0	2,0
12-10	1,85	11,3	11,7	10,0	33	250	639	32,5	70,0	1900	1800	-	-	-
12-15	1,85	10,7	11,9	10,4	33	250	639	31,5	71,5	1880	1810	14,4	0,8	0
12-25	2,16	11,7	11,2	10,0	33	230	640	30,5	72,5	1880	1995	14,2	2,0	0
12-30	2,15	10,8	12,0	9,6	33	250	639	29,5	74,0	1890	1805	14,0	1,2	0
12-35	2,5	11,3	11,7	10,0	33	230	639	28,5	75,0	1880	1880	-	-	-

На рис.3 представлены экспериментально определенные парные зависимости между

температурой факела в первом и втором завалочных окнах и кинематической вязкостью мазута перед горелкой. Увеличение вязкости от 17 до 44 мм<sup>2</sup>/с повышает температуру факела в среднем на 40-45 °С, при дальнейшем увеличении вязкости температура факела начинает снижаться.

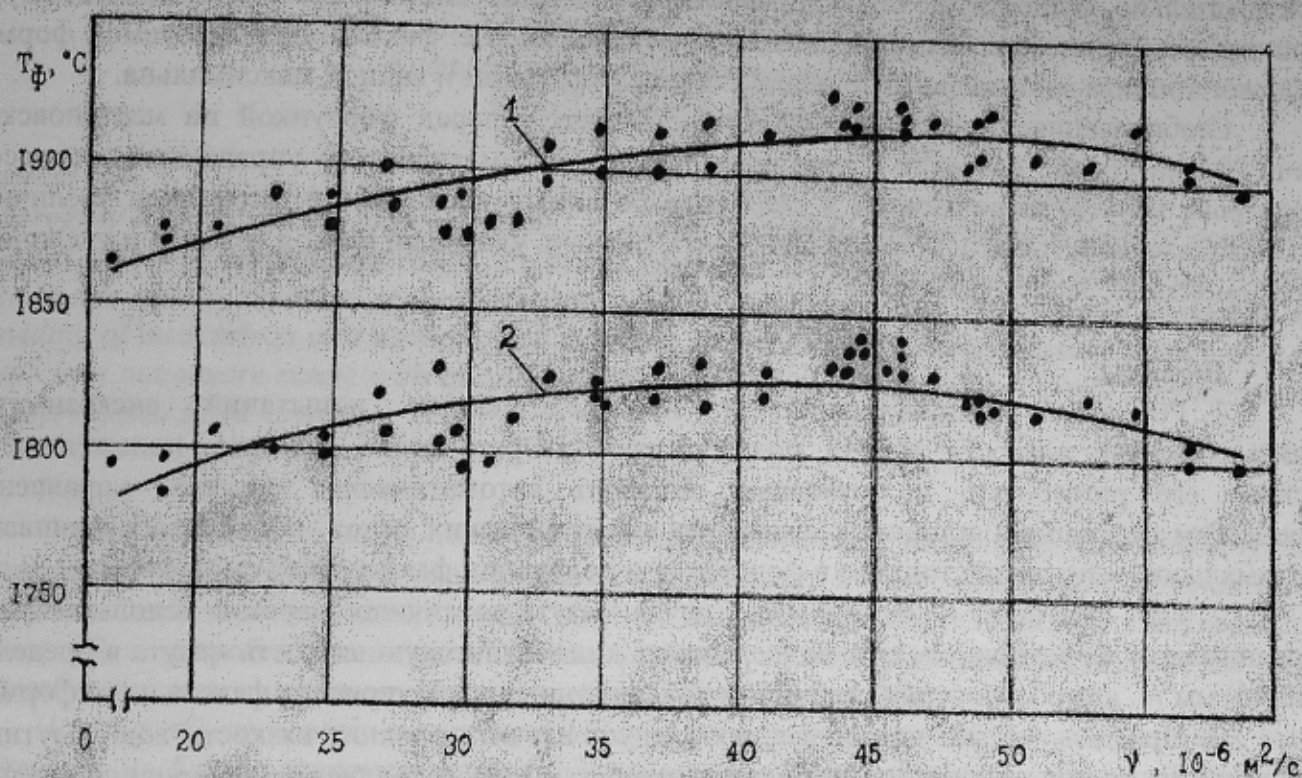


Рис. 3 - Зависимость между температурой факела и кинематической вязкостью мазута:  
1 – в первом завалочном окне; 2 – во втором завалочном окне

Регрессионный анализ полученных зависимостей показал, что для заданного уровня значимости (с достоверностью выводов  $P=0,95$ ) наиболее адекватной является аппроксимация их полиномами второй степени вида  $T_{\phi}=A_1v^2+A_2v+A_3$ , где  $T_{\phi}$  – температура факела, °С;  $v$  – кинематическая вязкость мазута, мм<sup>2</sup>/с;  $A_1, A_2, A_3$  – коэффициенты уравнения регрессии.

Для регрессионных полей, представленных на рис.3, были получены следующие зависимости:

$$\text{для первого окна: } T_{\phi} = -0,05329 v^2 + 5,042v + 1795,6; \quad \sigma_{\text{ост}} = 1,4698;$$

$$\text{для второго окна: } T_{\phi} = -0,06525 v^2 + 5,363v + 1716,16; \quad \sigma_{\text{ост}} = 1,4505.$$

Аналогичный анализ, проведенный для температуры факела на расстоянии третьего завалочного окна, указал на отсутствие значимой зависимости между контролируруемыми параметрами.

Во время экспериментов было установлено, что при низких значениях вязкости (15-25 мм<sup>2</sup>/с) топливо сгорает вблизи форсунки, образуя широкий и короткий факел. С увеличением кинематической вязкости до 35-45 мм<sup>2</sup>/с длина видимой части факела изменялась примерно от середины до 3/4 рабочего пространства ванны. При этом факел был настильным и жестким.

Результаты полученных экспериментальных данных и вид зависимостей между рассматриваемыми параметрами факела и кинематической вязкостью мазута полностью

согласуются с теоретическими представлениями. Действительно, при очень низких значениях вязкости критерий дробления большой, и тонко распыленное топливо сгорает сразу же за форсункой. При значительном увеличении вязкости мазута в факеле образуется большое количество капель с диаметром  $d > 0,5 \text{ мм}$ , и часть топлива догорает в насадках. Следовательно, существует такое оптимальное значение кинематической вязкости мазута, при котором процесс сгорания наиболее эффективный, т.е. факел будет требуемой формы, недожог топлива минимален, а теплоотдача между факелом и ванной максимальна.

Стабилизация кинематической вязкости мазута перед форсункой на мартеновской печи №4 на уровне  $45 \text{ мм}^2/\text{с}$  с помощью системы автоматического управления процессом подогрева мазута, включающем в себя разработанный вискозиметр, позволила увеличить производительность мартеновской на  $0,59 \text{ т/ч}$ , снизить удельный расход топлива и увеличить межремонтный период работы печи.

### Выводы.

1. Результаты исследований и производственных испытаний вискозиметра кинематической вязкости мазута подтверждают теоретические расчеты, положенные в основу его разработки, и позволяют создавать автоматические системы управления процессом подготовки топлива к сжиганию в мартеновских печах, которые обеспечивают оптимальное распыление топлива в форсунках и получении факела требуемой формы.

2. При сжигании в мартеновских печах мазута различных марок с использованием механических форсунок, следует поддерживать кинематическую вязкость мазута в пределах  $(40-45) \text{ мм}^2/\text{с}$ . для обеспечения требуемых радиационных характеристик факела и его формы.

3. При дальнейших исследованиях следует изучить влияние вязкости водомазутных эмульсий на процессы диспергации в эмульгаторах, с целью получения однородной среды с заданной дисперсностью воды в мазуте, а также определить оптимальные значения вязкости эмульсии, обеспечивающее её эффективное сгорание в факеле.

### Литература

1. Геллер З.И. Мазут как топливо. – М.: Недра, 1965. – 312 с.
2. Иванов В.М., Канторович Б.В. Топливные эмульсии и суспензии. – М.: Metallurgy, 1963. – 183 с.
3. Лисиенко В.Г., Китаев Б.И., Кокарев Н.И., Капичев А.Г. Усовершенствование методов сжигания мазута в мартеновских печах. – М.: Metallurgy, 1967. – 246 с.
4. Гилод В.Я. Сжигания мазута в металлургических печах. – М.: Metallurgy, 1973. – 316 с.
5. Древецкий В.В. Інформаційно-вимірювальна система кінематичної в'язкості нафтопродуктів // Методи та прилади контролю в'язкості. – 2005. – №15. – С.116-119.