

В настоящий момент все нововведения в производстве оптического кабеля (ОК) связаны с оптимизацией каждого этапа технологического процесса. С целью улучшения характеристик кабеля, снижения затрат на производство готового изделия и расширения возможностей оборудования разработано множество технологий и устройств, чтобы снизить оптические потери, увеличить скорость производства и сделать процесс производства более гибким. Увеличение производства оптического волокна (ОВ) и ОК является причиной автоматизации технологических процессов их изготовления и повышает конкурентоспособность предприятия.

Новые технологические разработки оборудования – от концепции до конкретной конструкции – подвержены воздействию как теории производства, так и практики, то есть физических ограничений, таких, например, как технологическая скорость традиционной современной линии по производству оптического модуля (ОМ).

Исследование конкретных примеров автоматической заправки ОВ ясно указывает на важность применения активных систем для поддержания стабильного производственного процесса. Такое оборудование помогает снизить отходы до минимума и в долгосрочной перспективе дает высочайшую степень окупаемости.

Большинство конструкций ОК основано на использовании экструдированной полимерной трубки с количеством волокон от 1 до 12. Внутри трубки есть некоторое свободное пространство, которое дает ОВ возможность передвигаться во избежание роста затухания, если ОК подвергается различным температурным изменениям или механическому воздействию. Именно для обеспечения этого свойства готовое изделие должно иметь строго определенное соотношение длины ОМ и длины ОВ. Это соотношение, называемое избыточной длиной волокна (EFL), зависит от различных параметров:

- натяжения ОВ;
- вязкости гидрофобного внутримодульного заполнения;
- температуры охлаждающей воды (степени кристаллизации) в ванне экструзионной линии;
- натяжения ОМ между обводным роликом и тягой на выходе;
- натяжения на приемном устройстве;
- скорости линии.

Более высокая скорость экструзионной линии сама по себе влияет на степень кристаллизации, поскольку сокращается время остывания материала ОМ до температуры кристаллизации.

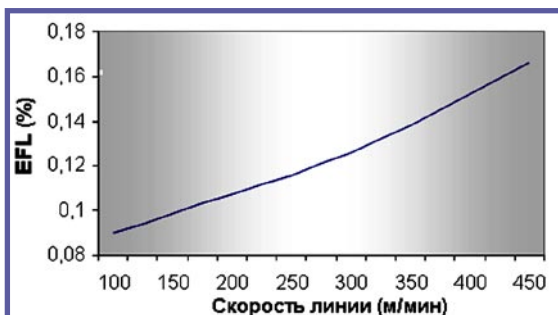


Рис. 1. Влияние скорости линии на EFL

Из-за усиления силы трения натяжение в охлаждающей ванне растет, что выражается в удлинении ОМ. Следствием этих процессов является высокая усадка полимерного материала, из которого изготавливается ОМ, и, соответственно, высокие оптические потери EFL из-за резкого уменьшения EFL. Наилучшего результата можно достичь, когда скорость производства ОМ – постоянная величина. Аналогично и для ОВ с плотным наложением двухслойного полимерного защитного покрытия (ОВ с буферным покрытием).

Частота перезаправки экструзионной линии зависит от скорости линии и длины ОВ. Например, для длины волокна 2,2 км и скорости линии 300 м/мин оператор должен заправлять новое ОВ каждые 7 минут. Эта операция, особенно на высоких скоростях, требует соответствующей квалификации оператора и зависит от его опыта и внимания.

В связи с ростом скорости производства встает вопрос безопасности при обращении с ОВ. Оператор подвергается опасности пораниться осколками ОВ. При силе натяжения ОВ в 15 Н, в случае если пучок из 12 ОВ обмотается вокруг пальца, мгновенно возникает сила в 180 Н и на скорости, например, 300 м/мин травма неизбежна.

Итак, есть несколько оснований для применения полностью автоматических систем производства ОМ:

- поддержание постоянной скорости для постоянного значения EFL;
- увеличение производительности экструзионной линии;
- снижение отходов ОВ и полимерных материалов;
- обеспечение техники безопасности.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЗАПРАВКИ ОВ

Предпринимались многочисленные попытки автоматизации процесса производства ОМ со свободной укладкой ОВ. Было разработано сдвоенное приемное устройство для смены барабанов без изменения скорости линии. Однако оператору по-прежнему приходится ждать окончания текущей заданной длины изделия, чтобы начать снова, заправив ОВ вручную.

Опыт эксплуатации линии для изготовления ОМ с несколькими ОВ позволил сформулировать основные задачи системы автоматического запуска, а именно:

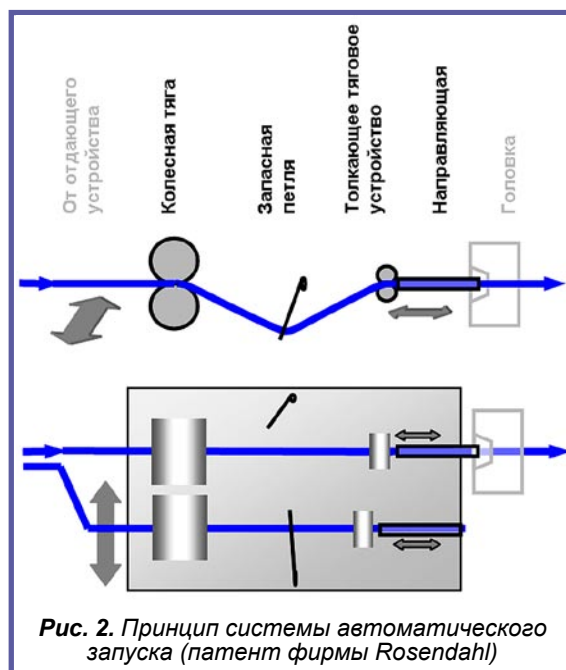


Рис. 2. Принцип системы автоматического запуска (патент фирмы Rosendahl)

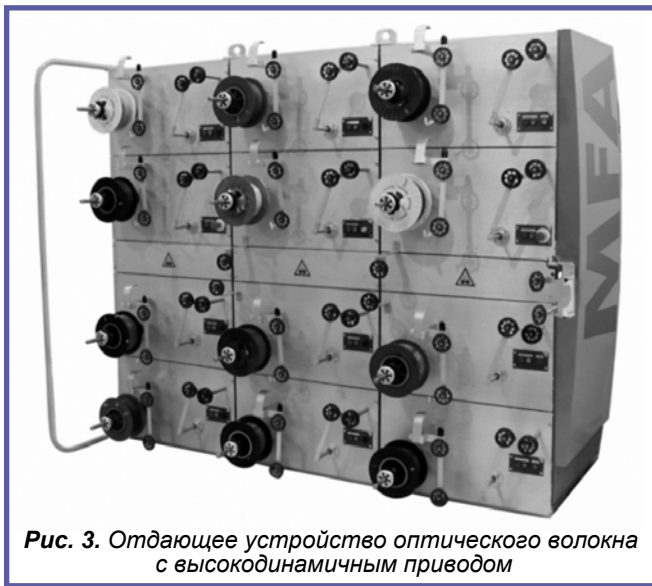


Рис. 3. Отдающее устройство оптического волокна с высокودинамичным приводом

- заправка ОВ в фильеру;
- использование активного отдатчика для изготовления ОМ;
- использование приводов с высокими динамическими характеристиками;
- применение колесного тягового устройства (толкающего тягового устройства) перед экструдером для уменьшения влияния натяжения ОВ между активным отдатчиком и роликом регулятора натяжения;
- снижение до нуля нагрузок на ОВ при переходе в рабочий режим изготовления ОМ.

Для полностью автоматизированной высокопроизводительной линии необходимо следующее оборудование:

Отдающее устройство ОВ с высокودинамичным приводом позволяет достичь рабочей скорости за минимально возможный период времени. Для непрерывного производства требуется два комплекта отдающих устройств.

Устройство фиксации ОВ и резки синхронизированное с отдающими устройствами и позволяющее снизить линейную скорость ОВ с 500 м/мин до 0 м/сек. За это время с отдающих катушек будет смотано менее 10 м ОВ, которое затем наматывается на бобины обратно и может использоваться для дальнейшей работы. Опыт наших заказчиков доказывает, что при использовании такой системы с активным управлением отходы снижаются в 10 раз. Обычные линии показали себя как ненадежные при их эксплуатации на высоких рабочих скоростях.

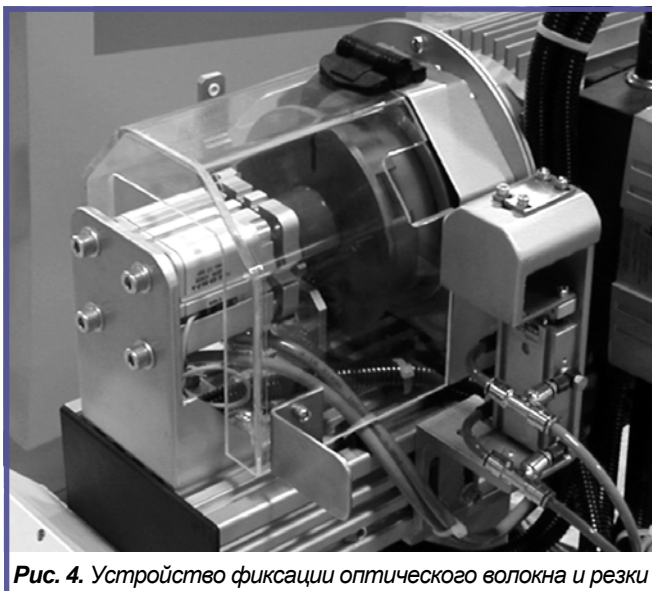


Рис. 4. Устройство фиксации оптического волокна и резки



Рис. 5. Система автоматического запуска

Система автоматического запуска с активной системой подачи, которая освобождает ОВ после заправки, позволяет задавать параметры новой партии во время изготовления текущей длины. Система работает с количеством ОВ от 1 до 12, включая волокно с плотно наложенным покрытием, для непрерывного производства кабеля типа simplex.

Сдвоенное приемное устройство с оптимизированным временем цикла смен приемных катушек, синхронизированное с основной системой управления линией, позволяет сократить отходы до минимума. Длина готового кабеля при переборке и быстрая реакция сдвоенного приемника исключают необходимость в промежуточном барабане для отходов. Кабель, остающийся при переборке, наматывается поверх последнего барабана, который потом может использоваться для последующего производства или просто сматывается с барабана.



Рис. 6. Сдвоенное приемное устройство

Система управления линией дает возможность контроля за производством, что упрощает работу оператора при установке параметров и полностью автоматизирует процесс перехода от ОВ к приемному устройству.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЛИНИЙ

Испытание активной системы запуска начинается с контроля динамических параметров. Для этого ОВ с отдающего устройства заправляется в систему автоматического запуска, а затем в ременную тягу. Этот вариант испытания намного жестче, так как ОВ захватывается ремнем, а не скользит по нему, как если бы оно попало внутрь ОМ. Таким образом проверялись динамические характеристики узлов линии и надежность ее управления в экстремальных условиях с точки зрения возникающих ускорений и синхронизации отдельных элементов линии.

Это испытание предопределило результаты, ожидаемые для технологии производства ОМ с плотной и буферной оболочкой. Как и предполагалось, с автоматической системой запуска достигались скорости более 400 м/мин.

Рис. 7 и таблицы 1–5 демонстрируют сравнительные характеристики производительности линий различной конфигурации по нескольким изделиям и с различными длинами ОВ.

Линия (А). Линия с традиционным отдающим устройством может быть запущена только с низкой скоростью. Сдвоенный намотчик используется как приемное устройство.

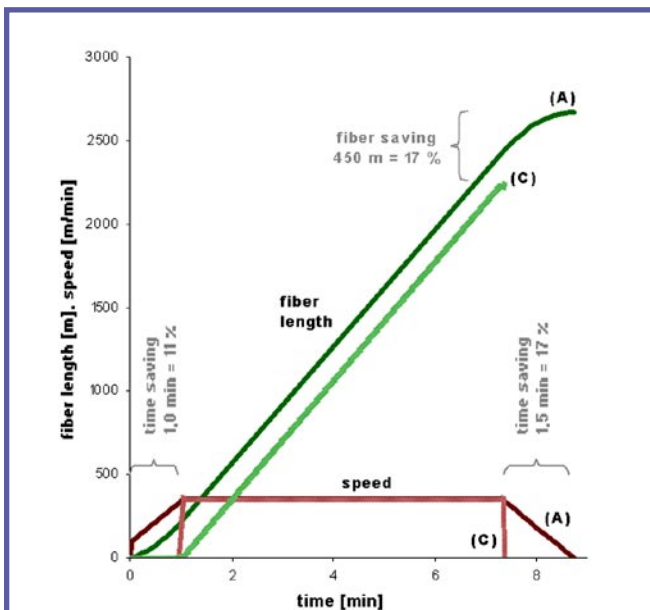


Рис. 7. Динамика линии типа (А) по сравнению с системой автоматической заправки ОВ на линии типа (С) / экономия времени и ОВ при производстве строительной длины 2000 м

Перевод пояснений к рисунку:

Длина ОВ (м), скорость м/мин – fiber length (m), speed (m/min)
 Экономия времени 1,0 мин (11%) – time saving ...
 Длина ОВ – fiber length
 Экономия ОВ 450 м (17%) – fiber saving ...
 Время, мин – time, min
 Экономия времени 1,5 мин (17%) – time saving ...
 Скорость – speed

Линия (В). Полуавтоматическая линия, оснащенная двумя высокودинамичными отдающими устройствами и устройством фиксации/резки. Заправка осуществляется вручную. Сдвоенный намотчик используется как приемное устройство.

Линия (С). Автоматическая линия непрерывного производства с двумя отдающими устройствами, оснащенными высокودинамичными приводами, и устройством фиксации/резки. Система автоматического пуска помогает осуществлять заправку. Сдвоенный приемник с быстрой сменой барабанов в комбинации с автоматическим пуском до минимума сокращают отходы и исключают необходимость в барабане для отходов. Система управления линией контролирует изготовление партии и снижает отходы от смены цвета.

Производство ОК вошло в стадию потребления. Гибкое производство, максимальное время работы, минимальные отходы и автоматизация становятся нормой. Для поддержания конкурентоспособности на рынке необходимо внедрять активные электромеханические системы в совокупности с современными разработками фирмы в области систем управления. Ключевыми компонентами являются: отдающие устройства, укомплектованные высокودинамичными приводами, устройствами фиксации/резки ОВ, узлом автоматической заправки ОВ, сдвоенным автоматическим приемным устройством, системой управления и контроля всей линией. Указанные системы зарекомендовали себя как исключительно надежные при пуске и остановке линии на скоростях свыше 400 м/мин для изготовления ОМ различных типов. Гибкость производства – от ОМ со свободным перемещением ОВ до ОМ с буферным покрытием – и вместе с тем гораздо меньшая степень вмешательства оператора в процесс выразились в повышении техники безопасности и повышении производительности на 35% по сравнению с традиционными методами.

Таблица 1

Трубчатый ОМ с 12 волокнами, скорость линии 300 м/мин, длина ОМ 6 км и длина ОВ 25 км

ОМ 1,5/2,5 мм 12 ОВ, строительная длина ОМ 6 км Скорость линии 300 м/мин, строительная длина ОВ 25 км		(А) Традиционная линия с ускорением (+, -)	(В) Полуавтоматическая линия с ручной заправкой ОВ	(С) Непрерывное производство и автоматическая заправка ОВ
Подготовка линии	мин	3 *	3 *	1 **
Запуск	мин	1	1	0,1
Разгон / замедление	мин	2,5	0	0
Заправка нового ОВ	мин	10	0	0
Время на изготовление строительной длины ОМ	мин	20	20	20
Время перезаправки	мин	9 ***	4	1,1
Количество перезаправок в сутки / %	1/24 ч	49,7/100	60,0/121	68,2/137
Простой линии	мин	447	240	75
Производительность, км/день	км/24 ч	298	360	409
Длина для разгона	км	124	0	0

* Подготовка, включая заправку ОМ, смену цвета и смену барабана для обрезков.

** Сокращение подготовительного периода благодаря практически полному отсутствию отходов. Это делает ненужным использование барабана для отходов и снижает длину ОВ переменного цвета благодаря усовершенствованной системе управления линией.

*** На одной строительной длине ОВ – 4 отрезка, соответствующих строительной длине ОМ. Время переброса увеличилось на ¼ за счет ручных операций. Для линии (А) принимается за 100%.

Таблица 2

Буферное покрытие, скорость линии 300 м/мин, строительная длина ОВ 8,8 км

Буферное покрытие 0,3/0,9 мм 1 ОВ, строительная длина ОМ 2 км Скорость линии 300 м/мин, строительная длина ОВ 8,8 км		(А) Традиционная линия с ускорением (+, -)	(В) Полуавтоматическая линия с ручной заправкой ОВ	(С) Непрерывное производство и автоматическая заправка ОВ
Подготовка линии / день	мин	60	60	60
Запуск	мин	1	1	0,1
Разгон / замедление	мин	2,5	0	0
Заправка нового ОВ	мин	1	0	0
Время на изготовление строительной длины	мин	26,7	26,7	26,7
Время перезаправки	мин	3,75	1	0,1
Количество перезаправок в сутки / %	1/24 ч	47,3/100	52,0/110	53,7/114
Простой линии	мин	237	112	65
Производительность, км/день	км/24 ч	361	398	412
Длина для разгона	км	118	0	0

Буферное покрытие, скорость линии 300 м/мин, длина ОВ 2,2 км

Буферное покрытие 0,3/0,9 мм 1 ОВ, строительная длина ОМ 2 км		(А)	(В)	(С)
Скорость линии 300 м/мин, строительная длина ОВ 2,2 км		Традиционная линия с ускорением (+, -)	Полуавтоматическая линия с ручной заправкой ОВ	Непрерывное производство и автоматическая заправка ОВ
Подготовка линии / день	мин	60	60	60
Запуск	мин	1	1	0,1
Разгон / замедление	мин	2,5	0	0
Заправка нового ОВ	мин	1	0	0
Время на изготовление строительной длины ОМ	мин	6,7	6,7	6,7
Время перезаправки	мин	4,5	1	0,1
Количество перезаправок в сутки / %	1/24 ч	128,6/100	187,0/145	211,8/165
Простой линии	мин	639	247	81
Производительность, км/день	км/24 ч	240	358	408
Длина для разгона	км	321	0	0

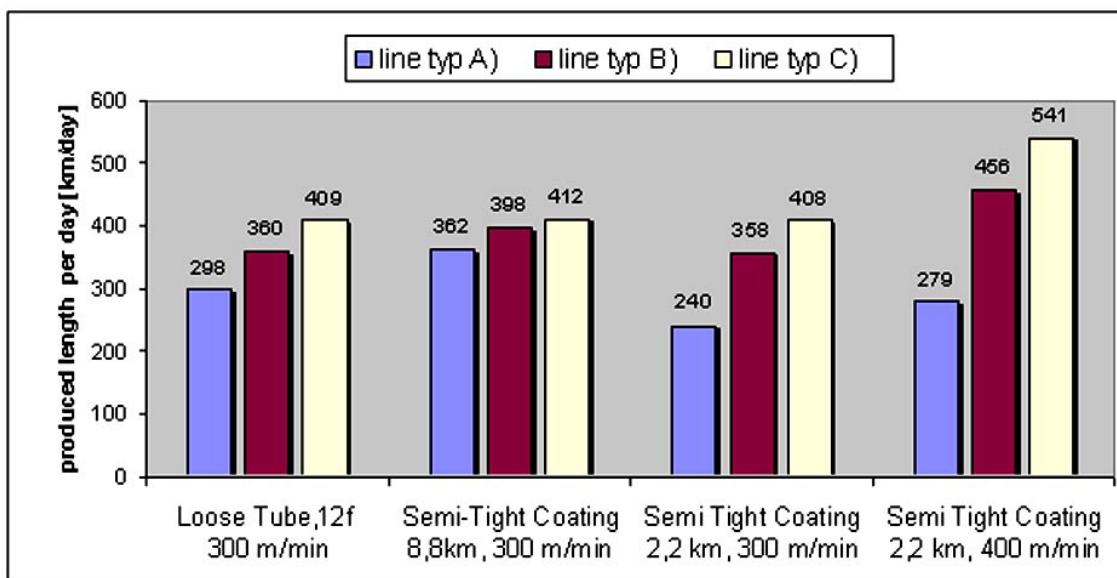
Таблица 4

Буферное покрытие, скорость линии 400 м/мин, строительная длина ОВ 2,2 км

Буферное покрытие 0,3/0,9 мм 1 ОВ, длина ОМ 2 км		(А)	(В)	(С)
Скорость линии 400 м/мин, строительная длина ОВ 2,2 км		Традиционная линия с ускорением (+, -)	Полуавтоматическая линия с ручной заправкой ОВ	Непрерывное производство и автоматическая заправка ОВ
Подготовка линии / день	мин	60	60	60
Запуск	мин	1	1	0,1
Разгон / замедление	мин	2,5	0	0
Заправка нового волокна	мин	1	0	0
Время на изготовление строительной длины ОМ	мин	5	5	5
Время перезаправки	мин	4,5	1	0,1
Количество перезаправок в сутки / %	1/24 ч	151,6/100	240,0/163	282,4/194
Простой линии	мин	742	300	88
Производительность, км/день	км/24 ч	279	456	541
Длина для разгона	км	379	0	0

Таблица 5

Сравнение производительности линий различной конфигурации



Перевод пояснений к таблице:

Изготовленная длина ОМ, км/день – *produced length per day(km/day)*

■ Линия типа А	■ Линия типа В	□ Линия типа С
Трубчатый ОМ с 12 ОВ 300 м/мин	Буферное покрытие 8,8 км, 300 м/мин	Буферное покрытие 2,2 км, 300 м/мин
	Буферное покрытие 2,2 км, 400 м/мин	

ЛИТЕРАТУРА

Автор выражает благодарность: за помощь и поддержку своим коллегам (фирма Rosendahl) при разработке и обосновании данной концепции; Майку Косу, Knill USA, за помощь при выборе темы и рекомендации по техническим вопросам.



1. Altmayr, Josef, «Fiber optical cable production» in: IWCS Proceedings 1999, pp. 472-478.
2. Eickholt, Jürgen, «Engineering Thermoplastics for high performance secondary fiber optic jacketing» Marl: Creanova/Huels (1998).