

7. Виброзащитные системы с квазиулевым жесткостью Под ред. К.М. Рагульскиса. – Л.: Машиностроение, 1986. – 96 с.
8. Иванова Д.А., Ротарь А.П., Макеев И.В. Исследование влияния управляющего сигнала силы тока на амплитудно-частотную характеристику демпферов на основе магнитоэологических эластомеров // Всероссийская научно-техническая конференция студентов Студенческая весна: Машиностроительные технологии. – 2018.

## Исследование эффективности кластерного оборудования с использованием имитационных моделей

*И.Н. Куликов, Л.Л. Колесник*

*Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана*

*2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: kulik19998@gmail.com); l.kolesnik@m-i.ru)*

*Технологии наноэлектронного производства сегодня используют многокластерное оборудование, в котором реализуется замкнутый технологический цикл без выгрузки изделий в атмосферную среду рабочего помещения, что позволяет проводить высокоточные многоступенчатые технологические обработки при обеспечении автоматического контроля техпроцессов, межоперационных испытаний и оперативного структурного анализа. При этом технологическая линия может быть многосвязанной – состоять из нескольких кластерных систем с возможностью трансляции полуфабрикатов между кластерами через модули передачи, переворота и складирования.*

*Для создания такого сложного единого комплекса технологического оборудования требуется решение задач, связанных с эффективным взаимодействием технологических модулей между собой с целью обеспечения необходимых качественных характеристик технологического процесса, что в свою очередь обуславливает необходимость разработки методов планирования и оптимизации структурно-компоновочных решений и графика запуска полуфабрикатов. Поэтому актуальным является разработка математических методов и моделей, которые ориентированы на анализ новых схем организации и управления автоматизированным производством в полупроводниковом производстве.*

*Study of efficiency of cluster equipment using imitation models. I.N. Kulikov, L.L. Kolesnik. Modern technologies of nanoelectronic manufacturing now use multicluster equipment, in which a closed technological cycle is implemented without unloading products into the atmospheric environment of the clean room, which allows high-precision multistage technological processing with automatic control, inter-operational tests and operational structural analysis. In this case, the technological line can be multiply connected - it consists of several cluster systems with the ability to translate semifinished products between clusters via transmission, coup and storage modules.*

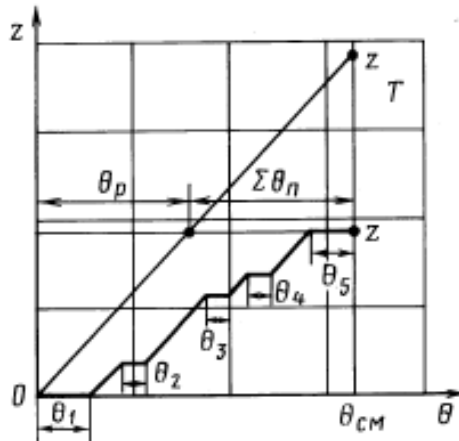
*To create such a complex, it is necessary to solve problems associated with the effective interaction of technological modules with each other in order to ensure the necessary qualitative characteristics of the technological process, which in turn necessitates the development of methods for planning and optimizing the structural and layout solutions and the schedule for semi-finished products. Therefore, it is important to develop mathematical methods and models that are oriented on the analysis of new schemes for organizing and managing automated production in semiconductor production.*

**Введение.** Проблемой современной полупроводниковой промышленности является постоянная смена номенклатуры выпускаемых изделий в соответствии с пожеланиями заказчика [1]. При серийном производстве изделий данная проблема стоит очень остро, ввиду

того, что каждое изменение производственного кластера влечет за собой неизбежное снижение в общей производительности.

**Решение проблемы.** Одним из решений данной проблемы стала разработка кластерного оборудования, которое позволяет (благодаря своей модульности) снизить временные затраты на переналадку. Это осуществляется путем формирования кластерной расширяемой системы, состоящей из различных модулей, каждый из которых позволяет выполнять целый набор операций.

Одной из задач, ставящихся перед кластерными системами, является снижение длительности простоев ( $\theta_i$  на рис. 1).



*Рис. 1. Диаграмма времени работы и простоев при эксплуатации машин.*

Многокластерные технологические комплексы характеризуются: сложной структурой объектов и процессов многоцелевого функционирования; многоуровневостью; множеством структурно-компоновочных решений; многообразием технологических процессов и инвариантностью технологических маршрутов обработки; вероятностным характером функционирования и поведения, связанным со сложным взаимодействием с изменяющейся внешней средой.

Эффективность установок можно рассматривать с разных сторон: 1) при проектировании новых и 2) при эксплуатации существующих. При этом, при проектировании новых установок: 1) анализируются требования заказчика и эксплуатанта к программе выпуска и рецептам 2) с последующим определением минимально возможной композиции установки. Это достигается за счет решения задачи синтеза на основе многопараметрического и многокритериального подхода (рис. 2).



*Рис. 2. Задача синтеза на основе многопараметрического и многокритериального подхода.*

При эксплуатации: анализируется существующая компоновка и рецепты.

Затем формируются все возможные варианты компоновок, на которых с помощью имитационной модели и моделей планирования графиков запуска производится моделирование потоков полуфабрикатов для последующего их анализа и выбора наиболее оптимального.

**Заключение.** С помощью имитационного моделирования можно реализовывать различные сценарии компоновки многокластерной установки с несколькими потоками полуфабрикатов в системе. При эксплуатации уже существующей установки целесообразно использовать имитационное моделирование для поиска наиболее оптимальной компоновки и графика запуска полуфабрикатов.

#### Литература

1. Kohn, R. Evaluation of Modeling, Simulation and Optimization Approaches for Work Flow Management in Semiconductor Manufacturing / R. Kohn, D. Noack, M. Mosinski, Z. Zhou, and O. Rose // Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference / M. D. Rossetti, R. R. Hill, B. Johansson, A. Dunkin, and R. G. Ingalls, eds. – Piscataway, NJ : IEEE Service Center, 2009. – P. 1592–1600.
2. Куликов И.Н. Автоматизированное формирование структур мультикластерных технологических комплексов. Теоретические и прикладные аспекты современной науки. 2014 №2 стр. 63-73.
3. Niedermayer, H. A Simulation-based Analysis of the Cycle Time of Cluster Tools in Semiconductor Manufacturing / H. Niedermayer, O. Rose // Proceedings of the Annual IIE Industrial Engineering Research Conference. – Houston, Texas, 2004.
4. Noack, D. An Optimization Framework for Waferfab Performance Enhancement / D. Noack, B. P. Gan, P. Lendermann, and O. Rose // Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference / S. J. Mason, R. R. Hill, L. Mönch, O. Rose, T. Jefferson, J. W. Fowler, eds. – Piscataway, NJ : IEEE Service Center, 2008. – P. 2194–2200.
5. Noack, D. Challenges and Solution Approaches for the Online Simulation of Semiconductor Wafer Fabs / D. Noack, M. Mosinski, O. Rose, P. Lendermann, and B. P Gan // Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference / S. Jain, R. R. Creasey, J. Himmelspach, K. P. White, and M. Fu, eds. – Piscataway, NJ : IEEE Service Center, 2011. – P. 1845–1856.
6. Куликов И.Н., Рябов В.Т., Шубников А.В. Имитационное моделирование кластерного технологического оборудования в полупроводниковом производстве, // НАНОИНЖЕНЕРИЯ. 2013. № 9 (27) Стр. 3-6.
7. Куликов И.Н. Имитационное моделирование управления потоками полуфабрикатов в многокластерном технологическом комплексе. ОБРАЗОВАНИЕ. НАУКА. НАУЧНЫЕ КАДРЫ. 2015. № 5. Стр. 271-275.
8. Yi J., Ding S., Zhang M.T., Meulen V.D. Throughput Analysis of Linear Cluster Tools // In Proceedings of 2007 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering, 2007. – 1063-1068.
9. Zuberek W. M. Cluster tools with chamber revisiting—Modeling and analysis using timed Petri nets // IEEE Transactions on semiconductor manufacturing, Vol. 17, No. 3, 2004. – pp. 333–344.