

УДК 51.330.115

## ВЛИЯНИЕ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ РАБОЧИХ УЧАСТКА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ЗАВОДА НА ПРАВИЛА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Д.М. Зыбарев

Предлагаемая работа является продолжением исследований на имитационной модели процессов календарного планирования производства на участках машиностроительных предприятий, начатых в [1,2]. Введение в модель такого важного вида ресурсов как рабочие позволило не только приблизить ее к реальным условиям, но и исследовать более широкий круг проблем. В частности, в данной работе изучается влияние степени специализации рабочих на участке на правила принятия решений, рекомендуемых мастеру для практического использования. На примере механообрабатывающего участка одного из машиностроительных заводов анализируются результаты исследования трех вариантов специализации рабочих при применении различных правил принятия решений, описанных в [2].

### §1. Описание основных характеристик участка и постановка эксперимента

Механообрабатывающий участок, для которого проводились исследования, является участком доработки в автоматном цехе. На участке насчитывается 46 единиц оборудования, которые с учетом однотипности выполняемых операций были условно разбиты на шесть различных групп. Первая группа оборудования включает 15

токарно-револьверных и круглошлифовальных станков, вторая - 7 токарно-винторезных, третья - 4 плоскошлифовальных и горизонтально-фрезерных станка, четвертая - II вертикально-сверлильных, пятая - 3 точила, верстаки и специальное оборудование (всего 7 единиц), шестая - 2 токарных п/автомата. Постоянно обрабатываемая номенклатура деталей на участке составляет 59 наименований с общим количеством деталей-операций 222. Число операций по группам оборудования распределяется следующим образом: за первой группой закреплено 67, за второй, третьей, четвертой, пятой и шестой соответственно 24, 30, 50, 47 и 4 операции. Отметим, что токарные п/автоматы, составляющие шестую группу, загружены полностью и постоянно обслуживаются одним рабочим. Обслуживание остальных 44 единиц оборудования по нормативам должно осуществляться 17-ю рабочими, фактическая их численность колеблется от 10 до 14. В процессе обработки детали данный участок практически не покидают, за исключением тех, которые подвергаются термообработке в другом цехе (их число  $\approx$  25%). Для реализации этих работ при моделировании были введены фиктивные ресурсы. Длительность переналадки оборудования незначительна и колеблется в интервале от 10 до 40 минут. Исключение составляют токарные п/автоматы. Наладка осуществляется группой наладчиков.

Эксперименты на модели проводились с информацией одного из прошедших месяцев, что позволяло определить более точно исходную информацию и в дальнейшем сопоставить результаты моделирования с реальным производством. Численность рабочих в экспериментах составляла II человек, что соответствовало моделируемому периоду и являлось, по мнению мастера участка, критическим. Плановое задание на месяц включало 82% номенклатуры, выпускаемой 136 деталями-партиями, т.е. в среднем 3-4 партии по каждому наименованию. Сроки поступления заготовок на участок были определены на основании учетной информации, т.е. носили детерминированный характер. В качестве коэффициента выработки нормы рабочими была взята расчетная величина, которая составляла 110-115%, фактическая производительность рабочих в моделируемом месяце равнялась 125-135%. В связи с трудностями снятия остатков незавершенного производства на участке при моделировании был взят нулевой уровень, т.е. предполагалось, что все детали-партии начинают обработку с первых операций. Вполне

естественно, что данные предположения поставили эксперименту в более жесткие условия, так как на начало месяца в стоимостном выражении уровень незавершенного производства составлял около 2500 руб. На конец моделируемого месяца этот уровень снизился до 1800 руб., что говорит о сдаче некоторой доли товарной продукции за счет снижения запасов на участке. И, наконец, в экспериментах на модели не допускалось использование сверхурочных работ и использование выходных, т.е. период моделирования длился 22 рабочих дня. Сделанные допущения не влекут существенных искажений полученных в экспериментах выводов. Однако вместе с тем они показывают, что в более худших условиях соответствующий выбор правил принятия решений и варианта организации работ на участке позволяет справиться с плановым заданием.

При оценке результатов моделирования в основном использовались те же показатели, что и в принятой на заводе системе управления. В частности, учитывались показатели: а) выполнение плана сдачи товарной продукции в стоимостном выражении; б) уровень обеспеченности сборки, который характеризуется величиной отставания от графика пропорциональности в сутко-комплектах [3]; в) уровне незавершенного производства в стоимостном выражении. Кроме того, в экспериментах учитывался параметр, характеризующий простой рабочих. Фактические данные на участке по данному параметру отсутствуют.

Как уже отмечалось, в экспериментах анализировались три варианта специализаций рабочих на участке. В первом варианте предусматривается, что все рабочие на участке универсалы, за исключением работающего на п/автоматах. В этом варианте любой рабочий на любом станке может выполнить любую операцию. Во втором варианте специализация была произведена по группам оборудования. Первая и вторая группы обслуживаются бригадой из 5 рабочих, которые в пределах данных групп полностью взаимозаменяемы. За третьей группой закреплено 2 рабочих, за четвертой — 3. Пятую группу оборудования, ввиду несложности и малой трудоемкости операций, может обслуживать любой из 10 рабочих. В третьем варианте выделяется бригада из 3 рабочих, которая может обслуживать любую группу оборудования, т.е. бригада универсалов. Оставшиеся 7 рабочих специализируются следующим об-

разом: на первой группе оборудования работают 3 рабочих, на второй, третьей и четвертой группах — по одному. Для обслуживания пятой группы оборудования кроме универсалов выделяется 1 рабочий из закрепленных за первой группой.

Таким образом, второй вариант в некотором смысле противопоставляется первому, а третий является смешанным и несет в себе как элементы универсализации, так и узкой специализации рабочих. По мнению мастера участка, принятая на практике специализация ближе всего подходит к первому варианту.

При анализе предложенных вариантов специализации на имитационной модели применялись правила принятия решений, которые были подробно описаны в [2]. В данной работе приводятся результаты экспериментов с семью правилами  $\mathcal{N} = 1, 2, 4, 6, 7, 10, 11$  (нумерация правил взята из [2]):

- 1) правило наименьшей длительности операций ( $\mathcal{N} = 1$ );
- 2) правило наибольшей длительности операций ( $\mathcal{N} = 2$ );
- 3) правило наименьшего остатка длительности производственного цикла ( $\mathcal{N} = 4$ );
- 4) правило наименьшей длительности производственного цикла ( $\mathcal{N} = 6$ );
- 5) правило наименьшей по числу оставшихся невыполненными операций технологии ( $\mathcal{N} = 7$ );
- 6) правило "последним пришел — первым обслужен" ( $\mathcal{N} = 10$ );
- 7) второе правило В.А.Петрова ( $\mathcal{N} = 11$ ).

## § 2. Результаты экспериментов

Расчеты на модели проводились для всех вариантов специализации при условии последовательного вида движения деталей-партий в процессе обработки. В качестве параметров оценки эффективности работы участка, как уже отмечалось, рассматривались используемые на заводе показатели, которые с помощью дополнительно включенного в модель комплекса программы учета хода производства фиксировались и обрабатывались ежемесячно. Ввиду большого объема полученной информации в данной работе приводятся выборочные обработанные данные экспериментов, которые характеризуют анализируемый вопрос.

Прежде чем перейдем к анализу соотношения вариантов специализации рабочих и правил принятия решений, отметим, что сопоставление результатов экспериментов с различными правилами принятия решений для каждого из вариантов подтвердило в основном выводы, полученные для этих правил на условной информации и изложенные в [2]. Вместе с тем, как следует из обсуждаемой проблемы, выясняется, что при сохранении общей тенденции и соотношения между правилами при различных вариантах специализации рабочих эффективность применения того или иного из них по отношению к исследуемым параметрам может проявляться в различной степени. Часть правил при переходе от одного варианта специализации к другому позволяет существенно улучшить значения отдельных параметров, для других эти различия незначительны. Динамика исследуемых параметров в проведенных экспериментах по пятидневкам приводится в табл. 1-4.

Анализ результатов экспериментов начнем с показателя выполнения плана по сдаче товарной продукции, который является для участка одним из наиболее важных. В табл. 1 кроме результатов экспериментов приводятся также фактические данные по участку за моделируемый месяц. При обработке результатов экспериментов фактическое выполнение за месяц было взято за 100% и по отношению к нему рассматривались все остальные данные экспериментов.

Как видно из табл. 1, наилучшие результаты получены при первом варианте специализации рабочих, где значения показателя сдачи товарной продукции для правил  $\mathcal{K} = 2, 7, 10$  принимают наибольшие значения и практически не отличаются от фактических результатов по участку. Здесь уместно отметить, что невыполнение плана сдачи товарной продукции объясняется разницей начальных условий уровня незавершенного производства (НЗП). Так как при моделировании начальный уровень НЗП равнялся нулю, то, как следует из табл. 1, в первой пятидневке около 50% рабочего времени ушло на создание необходимого для нормальной работы участка уровня НЗП. Именно этим и вызван низкий процент выполнения плана по сдаче товарной продукции в первой пятидневке. Таким образом, вполне естественно, что за счет наличия необходимого уровня НЗП (напомним, что фактический уровень на начало месяца оценивался в 2500 руб.) на начало месяца при моделиро-

Т а б л и ц а I

Сдача товарной продукции участком  
в процентах к плану на месяц

Правило Пятидневка	I	2	4	6	7	10	11	Факт. по уч-ку
Вариант 1								
I	13,9	9,1	14,6	14,8	15,1	14,7	4,5	8,4
2	39,6	25,9	36,2	40,4	39,2	36,7	21,4	47
3	60,7	53,5	56,4	63,8	64,4	57,7	37,8	68
4	86	86,5	74,9	83,5	85,4	89	74,4	94,1
За месяц	95,9	99	85,5	92,1	100	98,7	89,7	100
Вариант 2								
I	14	8,9	15,1	14,4	13,3	13,1	5,7	
2	35,9	26,3	33,1	35,3	36	38,2	23,6	
3	57,4	47,1	52	56,3	61,2	69	40,2	
4	79,1	76,9	73,6	75,6	83,9	84,6	69	
За месяц	88,1	86,9	80,8	90,5	91,3	92,3	92,4	
Вариант 3								
I	13,7	6,6	14	14,4	12,6	15,6	3,5	
2	35	26,6	33,2	36,9	35,4	35,5	23,8	
3	58	53,6	58,6	60,2	60	63	41,1	
4	78,6	84,5	77	79,6	83,9	82,5	66,2	
За месяц	89,8	89,9	87	88	91,9	91,5	81,4	

вании результаты экспериментов по отношению к сдаче товарной продукции могут быть увеличены за месяц не менее чем на 10%. С учетом данного замечания можно сказать, что использование анализируемых правил принятия решений гарантирует выполнение, а во многих случаях (например, для  $\mathcal{N} = 1, 2, 7, 10$  с первым вариантом специализации) существенное перевыполнение плана по сдаче товарной продукции. Вместе с тем в отдельных экспериментах, в частности с правилами  $\mathcal{N} = 2, 4$  для второго варианта специализации и  $\mathcal{N} = 4, 6, 11$  для третьего варианта, возможно невыполнение плана. Этот факт подчеркивает важность правильного применения правил принятия решений и выбора варианта специализации рабочих.

Сравним приведенные в табл. I результаты экспериментов для каждого из правил в различных вариантах специализации. В случае применения правил  $\mathcal{N} = 1, 2, 5, 7, 10$  лучшие значения показателя выполнения плана получены для первого варианта. Для  $\mathcal{N} = 4$  выше, хотя и незначительно, процент выполнения плана при третьем варианте специализации. При втором варианте высший процент выполнения плана получен с правилом  $\mathcal{N} = II$ . Интересно отметить, что практически единственными из рассмотренных правил, которые при более узкой специализации рабочих дают более эффективный результат, являются правила, предложенные В.А.Петровым [4]. Данное замечание для этих правил относится и к другим исследуемым параметрам.

Сопоставление вариантов специализации в целом по отношению к показателю сдачи товарной продукции показывает, что для большего числа правил преимущество имеет первый вариант, за ним следует третий и на последнем месте второй вариант специализации. Равномерность выполнения плана по пятидневкам в различных вариантах экспериментов отличается незначительно, за исключением правила  $\mathcal{N} = II$ . Для этого правила большой процент выполнения плана приходится на последнюю декаду месяца. Если дополнительно проанализировать для данного правила динамику изменения уровня НЗП (см. табл.2), то можно отметить, что правило три пятидневки работает на увеличение запасов НЗП, которые обеспечивают работу без простоя. Очевидно, именно этим можно объяснить его эффективность при втором варианте специализации.

Общее соотношение вариантов специализации рабочих, которое отмечено для показателя выполнения плана по сдаче товарной продукции, как следует из табл. 2-4, сохраняется и для остальных параметров. Вместе с тем нужно отметить, что некоторые правила по-разному влияют на исследуемые параметры. Так, если сравнить изменения величины отставания от графика пропорциональности за месяц для правила  $\mathcal{N} = 7$  (табл.3), то получаем, что разница между первым и вторым вариантами составляет 20 суток-комплектов в пользу первого, а между вторым и третьим - 25 в пользу второго. Сопоставление различий в выполнении плана сдачи товарной продукции дает соответственно 8,1 и 0,6%. Как видим, несмотря на то, что третий вариант незначительно по

Т а б л и ц а 2

Средний уровень незавершенного производ-  
ства в рублях

Правило		I	2	4	6	7	10	11
Пятидневка								
Вариант 1								
I		1501	1532	1338	1232	1293	1280	1859
2		1814	2296	1904	1651	1511	1580	2602
3		1937	2117	1734	1708	1461	1517	2838
4		1539	1510	1692	1651	1298	1167	2070
За месяц		1627	1755	1610	1526	1304	1308	2236
Вариант 2								
I		1464	1563	1365	1333	1472	1413	1819
2		1884	2316	1898	1600	1383	1688	2541
3		2045	2328	2303	1701	1223	1262	2760
4		1847	2171	2251	1764	1093	1289	2372
За месяц		1767	2013	1937	1554	1245	1336	2272
Вариант 3								
I		1561	1525	1293	1245	1280	1323	1860
2		2020	2249	2020	1618	1676	1578	2673
3		2121	2074	2220	1618	1395	1655	2893
4		1904	1564	2085	1741	1186	1350	2539
За месяц		1843	1796	1869	1539	1361	1436	2422

сравнению со вторым улучшил показатель выполнения плана, произошло более существенное сокращение отставания от графика пропорциональности. Аналогичное сопоставление для правила  $\mathcal{K}=4$  показывает, что увеличение процента выполнения плана для третьего варианта по сравнению с первым привело к увеличению отставания.

Таким образом, приведенные факты лишь раз подтверждают, что усиленное внимание к показателям выполнения плана по сдаче товарной продукции в стоимостном выражении отрицательно влияет на обеспеченность сборки деталями.



Т а б л и ц а 3

Средняя величина отставания от графика  
пропорциональности в сутко-комплектах

Пятидневка	Правило	I	2	4	6	7	10	11	Факт. по уч.
		Вариант 1							
	1	1264	1446	1245	1249	1275	1264	1419	1333
	2	1210	1609	1195	1195	1250	1234	1419	1340
	3	1245	1639	1225	1228	1272	1281	1436	1417
	4	1303	1638	1311	1314	1317	1322	1399	1446
	За месяц	1267	1536	1257	1260	1289	1284	1417	1393
		Вариант 2							
	1	1267	1431	1269	1257	1299	1333	1383	
	2	1208	1582	1214	1217	1285	1389	1412	
	3	1244	1661	1276	1259	1322	1369	1433	
	4	1345	1645	1366	1341	1354	1349	1420	
	За месяц	1282	1583	1299	1279	1324	1373	1410	
		Вариант 3							
	1	1291	1450	1251	1253	1278	1307	1469	
	2	1202	1609	1225	1225	1255	1287	1444	
	3	1252	1687	1276	1250	1292	1315	1484	
	4	1341	1590	1355	1338	1323	1372	1427	
	За месяц	1286	1589	1292	1282	1299	1331	1455	

Продолжая анализ результатов экспериментов с позиций выполнения графика пропорциональности сдачи готовых деталей, можно отметить, что применение правил принятия решений, которые в конфликтных ситуациях отдают предпочтение операциям и деталям с наименьшими оценками длительности обработки ( $\mathcal{R} = 1, 4, 6, 7$ ), заметно увеличивает темпы выпуска готовых деталей с участка. Естественно, в результате увеличения темпов выпуска готовых деталей происходит сокращение величины отставания от графика пропорциональности. В равной мере данный факт наблюдается при всех анализируемых вариантах специализации. Ис-

пользование этих же правил, как видно из табл. 2, приводит к более низкому уровню незавершенного производства на участке. И, наконец, сопоставляя результаты экспериментов с фактическими данными по участку по выполнению графика пропорциональности, можно сделать вывод о том, что многие правила приводят к лучшим результатам. Поэтому анализ и выбор правил принятия решений может обеспечить более эффективную деятельность участка.

Выше уже упоминался показатель, характеризующий уровень незавершенного производства на участке. Более подробный анализ и сопоставление результатов экспериментов из табл. 2 позволяет получить дополнительные аргументы о необходимости учета варианта специализации рабочих при выборе правил принятия решений в практической деятельности мастера участка. По действующим в цехе нормативам уровень НЗП на участке допускается в пределах от 1500 до 2000 руб. Как следует из табл. 3, большая часть правил обеспечивает это условие, исключения составляют правила  $\mathcal{K} = 7, 10, 11$ . Последнее из них значительно превышает нормативы, два других приводят к более низкому уровню НЗП. Очевидно, именно чрезмерным сокращением уровня НЗП во втором варианте специализации для правила  $\mathcal{K} = 7$  можно объяснить увеличение простоев рабочих (табл. 4), так как в этом случае начала сказываться структура по видам работ, стоящих в очереди на выполнение операций.

Сопоставляя средние оценки уровня НЗП для различных вариантов специализации, видим, что для правил  $\mathcal{K} = 1, 2, 4, 6, 10$  более низкий уровень НЗП имеем для первого варианта, а самый высокий — для второго. Для правил  $\mathcal{K} = 7, 11$  самый низкий уровень имеем для второго варианта, за ним следуют первый и третий. Таковы результаты сравнения средних оценок за месяц. Анализ динамики изменения параметра в течение месяца показывает, что превышение нормативов для первого варианта в дополнение к правилу 11 произошло при применении  $\mathcal{K} = 2$  во вторую и третью пятидневку. Для второго варианта превышение нормативов произошло с четырьмя из семи анализируемых правил в течение третьей пятидневки, а в отдельных случаях — во второй и четвертой. Аналогичны результаты для третьего варианта специализации.

Таким образом, результаты экспериментов подтвердили обоснованность принятых для участка нормативов уровня НЗП.

Анализ показателя простоев рабочих существенных измене-

Т а б л и ц а 4

Простом рабочих в процентах к общему фонду  
рабочего времени за месяц

Правило		I	2	4	6	7	10	II
Пятидневка								
Вариант I								
I		0	0	0	0	0	0	0
2		0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
3		I	I	I	I	I	I	I
4		I	I	I	I	I	I,3	I
За месяц		4,36	4,34	6,09	4,32	3,92	4,66	3,53
Вариант 2								
I		0,33	0,6I	0,53	0,68	I,7	0,34	0,43
2		I,2	I,3	I,57	I,3I	0,59	0,82	0,55
3		I,73	2,06	I,73	I,75	I,48	2,09	I,06
4		I,32	I,9	I,36	I,57	I,03	4,04	I,19
За месяц		6,38	7,6I	6,57	6,27	6,32	5,49	4,56
Вариант 3								
I		0	0,57	I,07	I,56	0,5	0,14	0,15
2		0,93	0,42	0,74	0,97	0,89	0,56	0,42
3		I,25	I,85	I,04	I,28	I,14	I,35	I,2
4		I,25	I,78	I,8I	I,66	I,85	I,7I	I,6
За месяц		5,6I	6,22	6,3	7,II	5,43	5,1	5,43

ний в выводы не вносит, а лишь их дополняет и подтверждает. Поэтому подробного анализа проводить не будем и ограничимся приведенным результатом экспериментов (табл. 4).

Подводя итоги анализа экспериментов на имитационной модели для участка машиностроительного завода, можно сделать следующие основные выводы:

Метод имитационного моделирования показал себя эффективным инструментом исследования реальных сложных объектов.

Варианты специализации рабочих на участке являются важным фактором при планировании производства участка. Совокупность обоснованного выбора варианта специализации и правил принятия решений могут намного существеннее улучшить показатели деятельности участка, чем каждый из этих факторов в отдельности.

Стремление к полной универсализации рабочих на участке обосновано с позиций процесса планирования производства лучшими результатами. Несколько худшие, но заслуживающие внимания результаты показывает вариант с выделением бригады универсалов на участке.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ЗЫБАРЕВ Ю.М. Имитационная модель для решения задач календарного планирования машиностроительного производства. - В кн.: Оптимизация. Вып. 20 (37). Новосибирск, 1978, с.5-35.
2. ЗЫБАРЕВ Ю.М. Эксперименты на имитационной модели по исследованию процесса календарного планирования дискретного производства. - В кн.: Оптимизация. Вып. 20 (37). Новосибирск, 1978.
3. ПЕРЕЛЬМАН А.Е. Построение моделей автоматизированных систем оперативного управления производством. М., "Статистика", 1973.
4. ПЕТРОВ В.А. Групповое производство и автоматизированное оперативное управление. Л., "Машиностроение", 1976.

Поступила в ред.-изд. отдел  
30.XI.1977 г.